

repository.ub.ac.id

PENGARUH ELEKTROPORASI (PEF) BIJI PALA TERHADAP RENDEMEN DAN KUALITAS MINYAK PALA MENGGUNAKAN TEKNIK DESTILASI UAP-AIR

SKRIPSI

Oleh
CYNTHIA DEWI GUNAWAN
145100301111027



**JURUSAN TEKNOLOGI INDUSTRI PERTANIAN
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2018**

repository.ub.ac.id

PENGARUH ELEKTROPORASI (PEF) BIJI PALA TERHADAP RENDEMEN DAN KUALITAS MINYAK PALA MENGGUNAKAN TEKNIK DESTILASI UAP-AIR

SKRIPSI

Oleh
CYNTHIA DEWI GUNAWAN
145100301111027

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana
Teknologi Pertanian



**JURUSAN TEKNOLOGI INDUSTRI PERTANIAN
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2018**

LEMBAR PERSETUJUAN

Judul Tugas Akhir : Pengaruh Elektroporasi (PEF) Biji Pala Terhadap Rendemen dan Kualitas Minyak Pala Menggunakan Teknik Destilasi Uap-Air

Nama Mahasiswa : Cynthia Dewi Gunawan

NIM : 145100301111027

Jurusan : Teknologi Industri Pertanian

Fakultas : Teknologi Pertanian

Pembimbing Pertama,

Pembimbing Kedua,

Dr. Ir. Sukardi, MS.

Beauty S. D. Dewanti, ST. MT.

NIP. 19600626 198601 1 001 — NIK. 201304 831202 2 001

Tanggal Persetujuan:

Tanggal Persetujuan:

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Tugas Akhir : Pengaruh Elektroporasi (PEF) Biji Pala Terhadap Rendemen dan Kualitas Minyak Pala Menggunakan Teknik Destilasi Uap-Air

Nama Mahasiswa : Cynthia Dewi Gunawan

NIM : 145100301111027

Jurusan : Teknologi Industri Pertanian

Fakultas : Teknologi Pertanian

Pembimbing Pertama,

Pembimbing Kedua,

Dr. Ir. Sukardi, MS.

NIP. 19600626 198601 1 001

Beauty S. D. Dewanti, ST. MT.

NIK. 201304 831202 2 001

Penguji,

Mengetahui,
Ketua Jurusan,

Dr. Ir. Susinggih Wijana, MS.

NIP. 19590508 198303 1 004

Dr. Sucipto, STP. MP.

NIP. 19730602 199903 1 001

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Malang pada tanggal 20 September 1996 dari keluarga Bapak Gunawan dan Ibu Swanawati. Penulis menyelesaikan pendidikan di SDK Santa Maria I Malang pada tahun 2008, kemudian melanjutkan ke Sekolah Menengah Pertama di SMPK Santa Maria I Malang dengan tahun kelulusan 2011, dan menyelesaikan Sekolah Menengah Atas di SMAK Santa Maria Malang pada tahun 2014. Pada tahun 2018 penulis telah berhasil menyelesaikan pendidikannya di Jurusan Teknologi Industri Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Brawijaya Malang.

Selama masa pendidikannya, penulis juga mengikuti berbagai kegiatan kepanitiaan. Pengalaman organisasi kemahasiswaan penulis adalah sebagai anggota Sie Konsumsi panitia Natal pada tahun 2014/2015. Persekutuan Mahasiswa Kristen (PMK) Efrata Fakultas Teknologi Pertanian. Menjabat anggota panitia Sie HPDD Paskah pada Persekutuan Mahasiswa Kristen (PMK) Efrata Fakultas Teknologi Pertanian pada tahun 2015. Menjabat sebagai panitia Sie Konsumsi Camp MABA pada Persekutuan Mahasiswa Kristen (PMK) Efrata Fakultas Teknologi Pertanian pada tahun 2015.



Tak perlu ragu, gundah, ataupun takut!
Selama masih ada cahaya yang menemanimu,
Disanalah kamu bertemu dengan mimpi, cita, dan cinta.
Karya kecil ini aku persembahkan kepada kedua Orang Tuaku,
Kakak-kakakku dan Adikku tercinta

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama Mahasiswa : Cynthia Dewi Gunawan
NIM : 145100301111027
Jurusan : Teknologi Industri Pertanian
Fakultas : Teknologi Pertanian
Judul Skripsi : Pengaruh Elektroporasi (PEF) Biji Pala Terhadap Rendemen dan Kualitas Minyak Pala menggunakan Teknik Desilasi Uap-Air

Menyatakan bahwa,

Skripsi dengan judul di atas merupakan karya asli penulis tersebut di atas. Apabila di kemudian hari terbukti pernyataan ini tidak benar, saya bersedia dituntut sesuai dengan hukum yang berlaku.

Malang, Juni 2018
Pembuat pernyataan,

Cynthia Dewi Gunawan
NIM.145100301111027

Cynthia Dewi Gunawan. 145100301111027. Pengaruh Elektroporasi (PEF) Biji Pala Terhadap Rendemen dan Kualitas Minyak Pala Menggunakan Teknik Destilasi Uap-Air. TA. Pembimbing 1: Dr. Ir. Sukardi, MS. Pembimbing 2: Beauty Suestining Diyah Dewanti, ST. MT.

RINGKASAN

Tanaman pala (*Myristica fragrans*) merupakan tanaman asli Indonesia yang berasal dari pulau Banda. Minyak pala menghasilkan rendemen minyak atsiri tertinggi melalui proses destilasi uap-air. Rendemen minyak fuli antara 7-18 % (rata-rata 11 %) dan rendemen pada biji pala 9-11%. Mengingat sedikitnya rendemen minyak yang dihasilkan dari proses destilasi maka perlu dilakukan perlakuan pendahuluan menggunakan *Pulsed Electric Field* (PEF) pada biji pala utuh sebelum proses destilasi. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh perlakuan PEF biji pala utuh terhadap rendemen dan kualitas minyak pala dari kombinasi perlakuan (lama destilasi dan lama paparan PEF).

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) dengan dua faktor. Faktor pertama adalah lama paparan PEF (A) dengan 3 level yakni 240 detik, 360 detik, dan 480 detik. Faktor kedua yaitu lama destilasi (B) dengan 3 level yakni 6 jam, 10 jam, 14 jam. Percobaan dilakukan sebanyak 3 kali ulangan sehingga terdapat 27 satuan percobaan. Pengolahan dan analisis data dilakukan menggunakan analisis ragam atau ANOVA (*Analysis of Variant*). Pada penelitian ini dilakukan pengujian indeks bias, berat jenis dan perhitungan rendemen serta energi masukan spesifik.

Penerapan tegangan tinggi mengakibatkan terjadinya "*gate ion channels*" yaitu terjadinya pergerakan ion dalam bahan akibat adanya perbedaan potensial di luar dan di dalam dinding sel. Dari kombinasi perlakuan lama PEF dan lama destilasi didapatkan perlakuan terbaik yaitu lama PEF 240 detik dan lama destilasi 14 jam. Hasil dari perlakuan terbaik terlihat bahwa peningkatan volume rendemen dengan menggunakan PEF sebanyak 26.45-27.77%. Nilai indeks bias yang didapatkan sudah memenuhi standar. Adanya peningkatan berat jenis pada perlakuan dengan menggunakan PEF. Energi yang dibutuhkan

untuk menghasilkan sampel terbaik yaitu sebesar 2.986 kJ/cm^3 . Perlakuan PEF juga mempengaruhi banyaknya komponen yang terdeteksi.

Katakunci: *Biji pala, PEF, destilasi air dan uap, minyak, rendemen*



Cynthia Dewi Gunawan. 145100301111027. *The Effect of Electroporation (PEF) of Nutmeg Seed on The Yield and Quality of Nutmeg Oil by Steam-Water Distillation*. TA. Supervisor: Dr. Ir. Sukardi, MS. Co-Supervisor: Beauty Suestining Diyah Dewanti, ST. MT.

SUMMARY

The nutmeg plant (Myristica fragrans) is native to Indonesia who came from the island of Banda. Nutmeg oil produces the highest yield of essential oil through a steam distillation. The yield of oil of mace between 7-18% (average 11%) and yield of seed of nutmeg 9-11%. Given at least the yield of oil produced from the distillation process it is necessary to pre-treatment using Pulsed Electric Field (PEF) in whole nutmeg seed before the distillation process. The purpose of this research is to know the effect of PEF treatment of whole nutmeg seed on the yield and quality of nutmeg oil from a combination of treatments (duration of distillation and PEF).

This study uses a randomized block design (RAK) with two factors. The first factor is the duration of PEF (A) with 3 levels, i.e. 240 seconds, 360 seconds, and 480 seconds. The second factor is the duration of distillation (B) with 3 levels, i.e. 6 hours, 10 hours, 14 hours. The experiment was conducted 3 replications so that there were 27 experimental units. Analysis data were performed using analysis of variance or ANOVA (Analysis of Variance). In this research, refractive index, specific gravity and yield and specific input energy were calculated.

The application of high voltage leads to the occurrence of "gate ion channels" i.e. the occurrence of ionic movement in the material due to potential differences outside and inside the cell wall. From the combination of PEF treatment and long distillation, the best treatment was PEF 240 seconds and 14 hours distillation time. The results of the best treatment showed that the increase in yield volume using PEF was 26.45-27.77%. The refractive index value obtained meets the standard. The presence of increased specific gravity on the treatment using PEF. The

energy needed to produce the best sample is 2,986 kJ/cm³. PEF treatment also affects the number of detected components.

Keywords: *nutmeg seeds, PEF, water and steam distillation, oil yield.*



KATA PENGANTAR

Puji Syukur atas segala rahmat dan karunia yang diberikan Tuhan YME sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik. Tugas akhir ini merupakan bagian dari akademik Jurusan Teknologi Industri Pertanian Universitas Brawijaya yang harus dipenuhi sebelum menempuh ujian sarjana. Dalam pelaksanaan dan penyelesaian tugas akhir ini, tidak lepas dari bantuan berbagai pihak yang bersedia membantu secara langsung maupun tidak langsung. Pada kesempatan ini, penyusun mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua dan seluruh keluarga yang tidak pernah habis memberikan semangat, dukungan dan doa menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Dr. Ir. Sukardi, MS. dan Beauty Suestining Diyah Dewanti, ST, MT. selaku dosen pembimbing yang telah memberi masukan, arahan, bimbingan dan waktu yang diberikan untuk berdiskusi hingga dapat terselesaikannya tugas akhir ini
3. Ir. Susinggih Wijana, MS. Selaku dosen penguji yang telah memberikan saran-saran dan kritik yang sangat membangun agar tugas akhir ini semakin bermanfaat.
4. Segenap teman - teman *nutmeg's group* terima kasih atas bantuannya.
5. R.A.P yang dengan setia menemani dan memberi dukungan.
6. Semua pihak yang selalu memberikan motivasi dan doa.

Akhirnya penyusun menyadari bahwa dalam penyelesaian tugas akhir ini masih ada kekurangan. Semoga proposal tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkan.

Malang, Juni 2018
Penyusun,

Cynthia Dewi Gunawan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
RIWAYAT HIDUP	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	vi
RINGKASAN	vii
SUMMARY	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Tanaman Pala	5
2.1.1. Biji Pala	5
2.1.2. Komposisi Kimia Biji Pala	6
2.1.3. Manfaat Pala	6
2.2. Ekstraksi dengan Metode Destilasi	7
2.3. Minyak Atsiri Biji Pala	9
2.4. Teknologi <i>Pulsed Electric Field</i> (PEF)	11
2.5. Perhitungan Energi Spesifik Pada PEF (<i>Pulsed Electric Field</i>)	12
2.6. Penelitian Terdahulu	14
2.7. Hipotesis	16
BAB III METODE PENELITIAN	17
3.1. Tempat dan Waktu Pelaksanaan	17
3.2. Alat dan Bahan Penelitian	17
3.2.1. Alat Penelitian	17
3.2.2. Bahan Penelitian	17
3.3. Batasan Masalah	17
3.4. Prosedur Penelitian	17

3.4.1. Diagram Alir Penelitian.....	17
3.4.2. Identifikasi dan Perumusan Masalah.....	18
3.4.3. Studi Pustaka	19
3.4.4. Penelitian Pendahuluan	19
3.4.5. Rancangan Percobaan	19
3.5. Pelaksanaan Penelitian.....	21
3.5.1. Diagram Alir Destilasi Pada Biji Pala dengan dan Tanpa Perlakuan PEF	21
3.5.2. Destilasi Pada Biji Pala Tanpa Perlakuan PEF	21
3.5.3 Destilasi Pada Biji Pala Dengan Perlakuan PEF	22
3.6. Pengujian dan Analisis Data	23
3.6.1. Pengujian.....	23
3.6.2. Analisis Data.....	25
3.7. Perhitungan Energi Masukan.....	25
3.8. Pemilihan Perlakuan Terbaik	26
3.9. Analisa Komponen Kimia	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	27
4.1. Perubahan Membran Sel Akibat Perlakuan PEF	27
4.2. Pengaruh Perlakuan PEF dan Tanpa PEF	28
4.2.1. Rendemen Perlakuan PEF dan Tanpa PEF	28
4.2.2. Indeks Bias Perlakuan PEF dan Tanpa PEF ...	32
4.2.3. Berat Jenis Perlakuan PEF dan Tanpa PEF	35
4.3. Perlakuan Terbaik	37
4.4. Pengujian <i>Gas Chromotography-Mass Spectrometry</i> (GC-MS).....	39
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	43
5.1. Kesimpulan.....	43
5.2. Saran	43
DAFTAR PUSTAKA	45
LAMPIRAN	53

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Komposisi Kimia Biji Pala	7
Tabel 2.2. Standarisasi Minyak Pala	10
Tabel 2.3. Komponen Kimia Minyak Atsiri Pala	10
Tabel 3.1. Kombinasi Perlakuan Penelitian.....	20
Tabel 4.1. Rerata Pengaruh Lama Destilasi Terhadap Rendemen	30
Tabel 4.2. Rerata Pengaruh Lama PEF Terhadap Nilai Indeks Bias	34
Tabel 4.3. Rerata Pengaruh Lama PEF dan Destilasi Terhadap Berat Jenis	36
Tabel 4.4. Perhitungan Energi	38
Tabel 4.5. Perlakuan Terbaik Perlakuan PEF	38
Tabel 4.6. Perbandingan Perlakuan Kontrol dengan Sampel Terbaik	39
Tabel 4.7. Data Pengujian GC-MS (Pala Utuh)	40

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Bagian Buah Pala	6
Gambar 2.2. Destilator uap-air	8
Gambar 2.3. Peralatan PEF	12
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian	21
Gambar 3.2. Diagram Alir Destilasi Pada Biji Pala dengan dan Tanpa Perlakuan PEF	18
Gambar 4.1. Perubahan Struktur Jaringan Biji Pala	27
Gambar 4.2. Grafik Rendemen Minyak Pala Antar Faktor	29
Gambar 4.3. Grafik Perbandingan Rendemen Perlakuan PEF dan Kontrol.....	31
Gambar 4.4. Grafik Indeks Bias Minyak Pala Antar Faktor	33
Gambar 4.5. Grafik Perbandingan Nilai Indeks Bias Perlakuan PEF dan Kontrol	34
Gambar 4.6. Grafik Berat Jenis Minyak Pala Antar Faktor	35
Gambar 4.7. Grafik Perbandingan Nilai Berat Jenis Perlakuan PEF dan Kontrol	37

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan Rendemen.....	53
Lampiran 2. Perhitungan ANOVA Hasil Rendemen.....	55
Lampiran 3. Perhitungan Kadar Air Awal Bahan.....	58
Lampiran 4. Tebal Kulit Cangkang Biji Pala	59
Lampiran 5. Data Pengujian Indeks Bias Minyak.....	60
Lampiran 6. Perhitungan ANOVA Hasil Indeks Bias.....	61
Lampiran 7. Data Pengujian Hasil Berat Jenis Minyak	64
Lampiran 8. Perhitungan ANOVA Hasil Berat Jenis	65
Lampiran 9. Analisa Perlakuan Terbaik	68
Lampiran 10. Perhitungan Energi Masukan PEF.....	71
Lampiran 11. Hasil Pengujian GC-MS Perlakuan Kontrol dan Terbaik	72
Lampiran 12. Dokumentasi Penelitian	77



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Konsumsi biji pala terus meningkat dari tahun 2005-2015 sebesar 9,87% per tahun. Hal ini didukung oleh produktivitas pala Indonesia pada tahun 2007 sebesar 241 kg/ha mengalami peningkatan rata-rata sebesar 8,83% per tahun sehingga tahun 2016 mencapai 489 kg/ha (Suwandi dkk., 2016). Tanaman pala yang memiliki nilai ekonomis tinggi adalah bagian biji, dan daging buah. Bagian biji dan fuli dapat dijadikan sebagai sumber minyak atsiri (Palijama, 2012). Minyak pala merupakan salah satu jenis minyak atsiri yang sangat diminati di pasar internasional karena dapat digunakan sebagai bahan baku dalam industri parfum, kosmetik, farmasi, makanan dan minuman, penyedap alami, dan pengobatan. Minyak pala yang dikenal di pasar dunia adalah minyak pala dari bagian biji dan fuli (Sipahelut, 2012).

Menurut Marzuki *et al.* (2014), minyak pala dapat diperoleh melalui proses destilasi. Menurut Yulianto dkk. (2012), penggunaan metode destilasi uap-air menghasilkan rendemen minyak atsiri tertinggi. Menurut Hidayati dkk. (2012), kandungan minyak biji pala berkisar 5-15%, sedangkan dari penelitian didapatkan rendemen antara 0,5-1,7% dengan waktu penyulingan 3-6 jam. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa destilasi belum optimal. Hal ini dikarenakan oleh banyak faktor salah satunya lama waktu destilasi.

Berdasarkan studi lapang pada UKM minyak biji pala di daerah Lampung dan Aceh menggunakan bahan baku yang berbeda yaitu dalam keadaan utuh, dan remah/pecah. Di Lampung menggunakan biji pala utuh dengan fuli/"bunga" menghasilkan rendemen sebanyak 20%. Destilasi dilakukan selama 24-25 jam, sedangkan di Aceh menggunakan biji pala remah/pecah tanpa fuli/"bunga" menghasilkan rendemen sebanyak 9-11%. Destilasi dilakukan selama 20-28 jam. Menurut Rusli (2010), rendemen minyak fuli antara 7-18 % (rata-rata 11 %) dan rendemen pada biji pala 9-11%. Hal ini mengakibatkan hasil rendemen di Lampung dapat mencapai 20%. Penelitian ini menggunakan bahan baku biji pala utuh dikarenakan untuk meminimalisasi biaya tenaga kerja dan waktu produksi tetapi

tetap mendapatkan rendemen yang banyak dan kualitas yang baik. Mengingat sedikitnya rendemen minyak yang dihasilkan dari proses destilasi maka perlu dilakukan perlakuan pendahuluan menggunakan *Pulsed Electric Field* (PEF) pada biji pala utuh sebelum proses destilasi.

PEF merupakan salah satu metode *non-thermal* yang dapat membantu mempertahankan kandungan nutrisi dalam bahan dan dimanfaatkan untuk meningkatkan *yield* minyak (Zhang *et al.*, 2017). Prinsip dari PEF yaitu menerapkan medan listrik tinggi dengan waktu yang singkat dan meletakan bahan diantara dua elektroda. Menurut Schow *et al.* (2012), PEF mengakibatkan terjadinya elektroporasi yaitu adanya pergerakan ion yang semakin aktif dan membentuk pori-pori yang semakin lebar pada dinding sel hingga dapat membuat dinding sel mengkerut, rusak, bahkan pecah. Pori-pori tersebut akan meningkatkan permeabilitas membran sel terhadap ion. Menurut Sukardi (2016), rendemen minyak atsiri tidak bisa dinaikkan dengan meningkatkan suhu atau waktu proses. Suhu tinggi dan waktu proses yang lama justru merusak minyak atsiri. Maka dari itu terdapat alternatif penerapan *Pulsed Electric Field* (PEF) sebagai perlakuan pendahuluan untuk meningkatkan rendemen dan kualitas minyak atsiri. Penerapan PEF pada bunga melati mengalami peningkatan rata-rata 0,07%. Menurut Tintchev *et al.* (2012), pengolahan bunga mawar segar dengan menggunakan PEF dapat meningkatkan rendemen minyak 2-46% dan aroma yang dihasilkan hampir sama dengan minyak mawar dipasaran. Hasil penelitian Shorstkii *et al.* (2015) juga mengatakan bahwa penerapan PEF terhadap hasil ekstraksi biji bunga matahari dapat meningkatkan rendemen minyak sebesar 9,1%. Oleh karena itu, peneliti akan menganalisa tentang pengaruh elektroporasi (PEF) biji pala terhadap rendemen dan kualitas minyak pala menggunakan teknik destilasi uap-air.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas yaitu hasil rendemen yang kurang optimal maka rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana pengaruh perlakuan PEF biji pala utuh terhadap rendemen minyak pala dari kombinasi perlakuan (lama destilasi dan lama paparan PEF)?
2. Bagaimana pengaruh perlakuan PEF biji pala utuh terhadap kualitas minyak pala dari kombinasi perlakuan (lama destilasi dan lama paparan PEF)?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Mengetahui pengaruh perlakuan PEF biji pala utuh terhadap rendemen minyak pala dari kombinasi perlakuan (lama destilasi dan lama paparan PEF).
2. Mengetahui pengaruh perlakuan PEF biji pala utuh terhadap kualitas minyak pala dari kombinasi perlakuan (lama destilasi dan lama paparan PEF).

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Memberikan informasi pada publik bahwa perlakuan pendahuluan PEF pada biji pala utuh dapat meningkatkan hasil rendemen minyak.
2. Memberikan informasi pada industri bahwa dengan perlakuan PEF pada biji pala utuh dapat meningkatkan kualitas minyak.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanaman Pala

2.1.1 Biji Pala

Tanaman pala (*Myristica fragrans*) merupakan tanaman asli Indonesia yang berasal dari pulau Banda dan sudah menyebar ke berbagai daerah di Indonesia (Kepulauan Maluku, Sulawesi Utara, Sumatera Barat, Aceh, Jawa Barat, dan Papua). Tanaman pala tumbuh dengan baik di daerah tropis, selain di Indonesia terdapat pula di Amerika, Asia, dan Afrika (Nurdjannah, 2007). Menurut Ruhnayat dan Martini (2015), tanaman pala berbuah pada umur 7-8 tahun dan berproduksi pada umur 60-70 tahun dengan perkiraan produksi buah 1000-7500 butir/tahun. Tanaman pala berbatang sedang dengan tinggi mencapai 20 m, berdaun bulat telur atau lonjong yang selalu hijau sepanjang tahun. Menurut Aspan (2008), klasifikasi tanaman adalah sebagai berikut:

Kingdom	: Plantae
Super Divisi	: Spermatophyta
Divisi	: Magnoliophyta
Kelas	: Magnoliopsida
Sub Kelas	: Magnolidae
Famili	: Myristicaceae
Genus	: Myristica
Spesies	: <i>Myristica fragrans</i> Houtt

Pohon pala dapat tumbuh di daerah tropis pada ketinggian kurang dari 700 mdpl, beriklim lembab dan panas. Buah pala berbentuk bulat berukuran 6-9 cm, berkulit kuning jika sudah tua, dan berdaging putih. Buah pala terdiri atas daging buah (77,8%), fuli (4%), tempurung (5,1%), dan biji (13,1%) (Nurdjannah, 2007). Biji pala tunggal, berkeping dua, berbentuk bulat telur hingga lonjong, dan berukuran antara 2-3 cm. Isi biji berwarna putih, bila dikeringkan menjadi kecokelatan gelap dengan aroma khas. Biji pala dilindungi oleh tempurung berwarna hitam kecokelatan yang diselubungi oleh selubung biji yang berbentuk jala, berwarna merah terang. Selubung biji atau aril ini disebut fuli atau bunga pala. Biji dan fuli yang berasal dari buah yang cukup tua dimanfaatkan sebagai rempah, sedangkan yang berasal dari

buah yang muda dimanfaatkan sebagai bahan baku minyak pala karena kandungan minyak atsirinya yang jauh lebih tinggi daripada biji yang berasal dari buah yang tua (Asgarpanah dan Kazemivash, 2012). Bagian dari buah pala dapat dilihat pada **Gambar 2.1**.



Gambar 2.1 Bagian buah pala

2.1.2 Komposisi Kimia Biji Pala

Komposisi dalam biji pala terdiri dari minyak atsiri, minyak lemak, protein, selulosa, pentosan, pati, resin, dan mineral-mineral. Presentase dari komponen-komponen tersebut bervariasi dipengaruhi oleh klon, mut, dan lama penyimpanan serta tempat tumbuh. Kandungan minyak lemak dari biji pala utuh bervariasi dari 25-40%. Biji pala yang dimakan ulat mempunyai presentase minyak atsiri lebih tinggi dari pada biji utuh karena pati dan minyak lemaknya sebagian dimakan oleh serangga. Biji pala mengandung minyak atsiri sekitar 2-16% dengan rata-rata pada 10% dan minyak lemak sekitar 25-40%, karbohidrat sekitar 30%, dan protein sekitar 6% (Nurdjannah, 2007). Komposisi kimia biji pala dapat dilihat pada **Tabel 2.1**.

Senyawa fitokimia yang paling sering terdapat pada biji pala antara lain terpenoid, fenolik, alkaloid, saponin, flavonoid, lignin, protein, dan pati. Minyak atsiri biji pala diteliti lebih lanjut mengandung sabinen (15-50%), α -pinene (10-22%), β -pinene (7-18%), myrsin (0,7-3%), 1,8-cineole (1,5-3,5%), myristisin (0,5-13,5%), limonen (2,7-4,1%), safrol (0,1-3,2%), dan terpinen 4-ol (0-11%) (Parthasarathy et al., 2008).

Tabel 2.1 Komposisi Kimia Biji Pala dari Banda (%)

Komponen	Biji	
	Basah	Kering
Air	41	12,9
Lemak	23,3	34,4
Minyak atsiri	1,7	2,5
Gula	1,0	1,5
Komponen mengandung N	4,1	5,1
Komponen bebas N	27,3	40,4
Abu	1,5	2,2

Sumber: Nurdjannah (2007).

2.1.3 Manfaat Pala

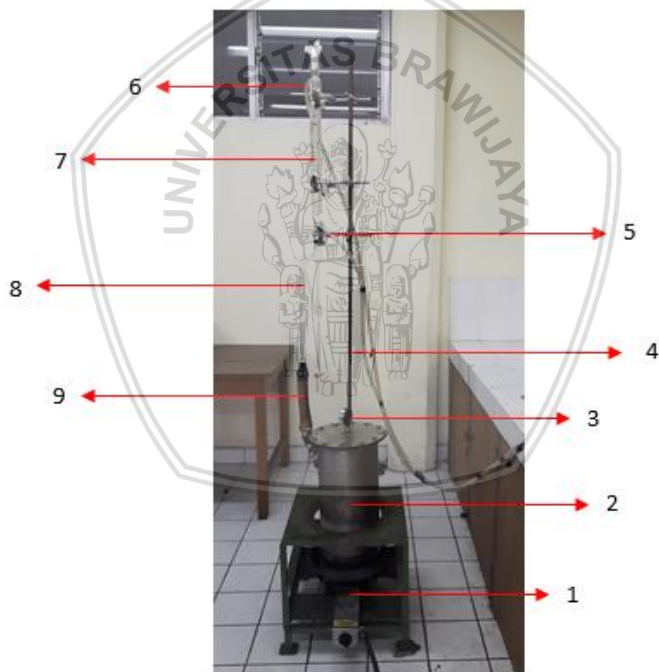
Buah pala terdiri dari 80% daging buah tetapi, hanya sebagian kecil yang sudah dimanfaatkan, sebagian besar hanya dibuang sebagai limbah pertanian. Daging buah pala memiliki potensi untuk diolah menjadi berbagai produk pangan. Produk yang sudah dikenal antara lain manisan pala, sirup pala, selai, dodol dan sebagainya. Pengolahan daging buah pala menjadi produk pangan dapat meningkatkan nilai ekonomi daging buah pala yang selama ini hanya merupakan limbah (Nurdjannah, 2007). Menurut Sipahelut (2012) minyak pala banyak digunakan sebagai bahan baku dalam industri parfum, kosmetika, farmasi, makanan dan minuman, penyedap alami, selain untuk pengobatan bahkan digunakan untuk pengobatan penyakit kronis seperti kanker.

Pala telah digunakan sebagai obat untuk diare, luka mulut dan insomnia (Somani dan Singhai, 2008). Pada abad pertengahan, pala digunakan sebagai obat sakit perut, stimulan, karminatif, radang selaput lendir hidung, merangsang nafsu makan, dan mengontrol perut kembung. Minyak pala secara eksternal digunakan untuk rematik, analgesik dan antiinflamasi (Idrus dkk., 2014).

2.2 Ekstraksi dengan Metode Destilasi

Penyulingan atau destilasi merupakan metode yang paling banyak digunakan untuk mendapatkan minyak atsiri. Pada penyulingan, campuran zat dididihkan sehingga menguap, dan uap ini kemudian didinginkan kembali ke dalam bentuk cairan.

Zat yang memiliki titik didih lebih rendah akan menguap lebih dulu (Hidayati, 2012). Destilasi merupakan suatu perubahan cairan menjadi uap dan uap tersebut didinginkan kembali menjadi cairan. Destilasi merupakan metode yang digunakan untuk memisahkan komponen-komponen yang terdapat dalam cairan atau campuran dan tergantung pada distribusi komponen-komponen tersebut antara fasa uap dan fasa cair (Suprihatin dkk., 2007). Metode penyulingan dapat dilakukan dengan tiga sistem penyulingan yaitu dengan penyulingan air (*water destillation*), penyulingan dengan air dan uap (*water and steam destillation*) dan penyulingan dengan uap (*steam destillation*) (Tanasale, 2012).



Gambar 2.2 Destilator uap-air

Keterangan:

1. Kompor
2. Tabung destilator
3. Penunjuk tekanan

4. Penyangga pendingan dan saluran destilat
5. Saluran air masuk ke pendingin balik
6. Saluran air keluar dari pendingin balik
7. Pendingin balik
8. *Clavenger*
9. Saluran keluar destilat

Pada industri minyak pala, pengambilan minyak dilakukan dengan penyulingan menggunakan uap air (*steam distillation*), ekstraksi dengan pelarut (*solvent extraction*), dan pengempaan (Darmadi dan Lubis, 2015). Metode destilasi uap-air merupakan metode yang sederhana dan membutuhkan biaya yang lebih rendah jika dibandingkan dengan destilasi uap. Pada metode destilasi uap-air, bahan diletakkan diatas air dengan penahan (sangsang) dan diatur sedemikian rupa agar ruang antar bahan tidak longgar (Yuliarto dkk., 2012). Hasil pendidihan akan naik ke atas membawa minyak bersama-sama keluar. Uap air dilewatkan dalam pipa berbentuk spiral dan didinginkan oleh air dikondensor dan terjadi kondensasi. Hasil kondensasi (kondensat) ditampung dalam *florentine flask*. Kecepatan difusi uap melalui bahan dan keluarnya minyak dari sel kelenjar minyak ditentukan oleh beberapa faktor, yaitu kepadatan bahan dalam ketel penyuling, tekanan uap, berat jenis dan kadar air bahan. Keuntungan cara ini adalah uap air yang dihasilkan dalam keadaan jenuh basah. Uap yang dihasilkan bertekanan rendah dan naik melalui bahan, cara ini suhu dapat dipertahankan sampai 100°C dan bahan tidak berhubungan langsung dengan air yang mendidih (Tanasale, 2012). Destilator uap-air dapat dilihat pada **Gambar 2.2**.

2.3 Minyak Atsiri Biji Pala

Minyak atsiri adalah ekstrak alami dari jenis tumbuhan tertentu, baik berasal dari daun, bunga, kayu, biji-bijian, bahkan putik bunga. Dari 70 jenis minyak atsiri yang selama ini diperdagangkan di pasar internasional dan 40 jenis di antaranya dapat di produksi di Indonesia. Minyak atsiri merupakan salah satu komoditas ekspor agroindustri potensial yang dapat menjadi andalan bagi Indonesia untuk mendapatkan devisa. Data statistik ekspor-impor dunia menunjukkan bahwa konsumsi minyak atsiri dan turunannya naik sekitar 10 % dari tahun ke tahun (Khozali

dkk., 2016). Minyak atsiri merupakan salah satu hasil sisa metabolisme dalam tanaman yang terbentuk karena reaksi antara berbagai senyawa kimia dengan air. Minyak atsiri disintesa dalam sel pada jaringan dan ada yang terbentuk dalam pembuluh resin. Minyak atsiri mengandung zat yang mudah menguap dengan komposisi titik didih berbeda-beda. Minyak pala merupakan salah satu minyak atsiri yang mudah menguap, tidak berwarna sampai kuning muda, berbau tajam, dan beraroma rempah (Sipahelut, 2012). Standarisasi minyak pala dapat dilihat pada **Tabel 2.2**.

Tabel 2.2 Standarisasi Minyak Pala

Komponen Mutu	Standar Mutu
Warna	Jernih- kuning muda
Berat Jenis 20°C	0,885-0,907
Indeks Bias 20°C	1,475-1,485
Putaran Optik 20°C	(+6°) – (+18°)
Kelarutan dan etanol 90%	1:1-1:3
Sisa Penguapan (%)	Maks. 2

Sumber : Badan Standarisasi Nasional No. 2388-2006

Tabel 2.3 Komponen Kimia Minyak Atsiri Pala (%)

Komponen	Pala Banda	ISO 3215
<i>α-pinene</i>	11,71-21,83	15-28
<i>β-pinene</i>	12,43-15,60	13-18
<i>Sabinene</i>	15,97-26,30	14-29
<i>δ-3-Carene</i>	1,02-2,46	0,5-2,0
<i>Limonene</i>	2,42-2,65	2,0-7,0
<i>γ-Terpinene</i>	3,19-7,21	2,0-6,0
<i>Terpineol</i>	2,86-6,98	2,0-6,0
<i>Safrole</i>	1,61-2,19	1,0-2,5
<i>Miristisin</i>	8,17-11,15	5,0-12

Sumber : A'mun (2013).

Komponen utama minyak atsiri pala adalah monoterpen asam hidrokarbon (61-88% sebagai *α-pinene*, *β-pinene*, *sabinene*) monoterpenes (5-15%), dan eter aromatik (2-18% seperti *myristicin*, *elemicin*, *safrole*) (Rodianawati *et al.*, 2015). Menurut Ismiyanto dkk. (2009), menyatakan bahwa kandungan

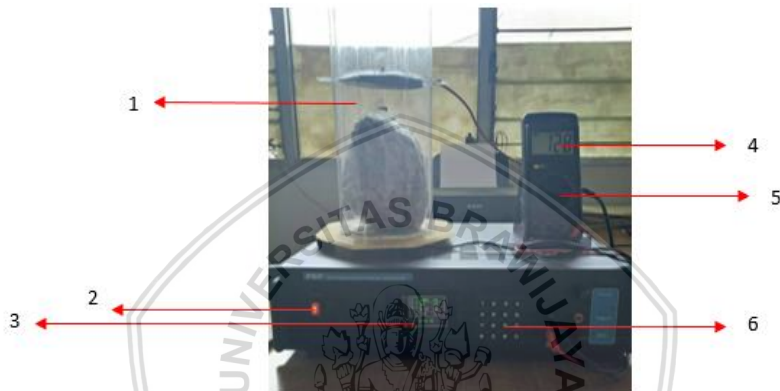
minyak atsiri pala sekitar 5-15% meliputi pinen, sabinen, kamfen, miristicin, elemisin, isoelemisin, eugenol, isoeugenol, metoksieugenol, safrol, dimerik polipropanoat, lignan, dan neolignan. Minyak atsiri pala mempunyai potensi sebagai penolak terhadap nyamuk *Aedes aegypti* dan nyamuk *Culex*. Komponen kimia minyak atsiri pala dapat dilihat pada **Tabel 2.3**.

2.4 Teknologi *Pulsed Electric Field* (PEF)

PEF merupakan salah satu metode *non-thermal* yang dapat membantu mempertahankan kandungan nutrisi dalam bahan dan dimanfaatkan untuk meningkatkan *yield* minyak. Teknik ini pada awalnya diperkenalkan dalam pengolahan makanan cair untuk inaktivasi mikroba dan enzim, terutama pada jus buah, telur, dan susu, dan pada sel tanaman pecah untuk memperbaiki ekstraksi zat target seperti minyak sayur (Zhang *et al.*, 2017). Prinsip dari PEF yaitu menerapkan medan listrik tinggi dengan waktu yang singkat dengan meletakkan bahan diantara dua elektroda. Hal ini mengakibatkan pecah/rusaknya struktur sel bahan sehingga rendemen yang dihasilkan lebih tinggi (Lopez *et al.*, 2008).

Metode pengolahan *non-thermal* dinilai lebih efektif, ekonomis dan efisien tanpa mengubah warna, bau dan kandungan gizi pada bahan. Pemberian pulsa pendek selama 1 μ s hingga 100 μ s dari medan listrik tegangan tinggi antara 20-80 kV/cm ke bahan makanan yang ditempatkan diantara dua elektroda pada suhu kamar. Pemberian pulsa tegangan tinggi pada bahan pangan akan merusak membran bakteri yang menyebabkan bakteri tersebut mati sehingga akan terjadi aktivitas metabolisme yang sudah tidak normal lagi atau terjadi peningkatan metabolisme tubuh sel yang terlalu tajam sehingga mengganggu kerja dan fungsi fisiologis sel. Kejut listrik dengan tegangan tinggi menyebabkan terjadinya kerusakan fisik sel. Kematian mikrobial akibat kejut listrik tegangan tinggi diduga dipengaruhi oleh kerusakan struktur sel lainnya, seperti rusaknya membran sitoplasma sel. Meskipun secara alamiah membran sitoplasma mampu disintesa kembali tetapi dengan tegangan tinggi, kerusakan yang berupa lubang-lubang pada membran luar dari sel tidak mampu diperbaiki lagi, sehingga memungkinkan keluar masuknya senyawa makromolekul dari sel dan menyebabkan kematian (Hawa dan Putri, 2011). PEF

sebelumnya telah dievaluasi sebagai *pretreatment* untuk ekstraksi minyak dari jagung, zaitun, dan kedelai. Perlakuan awal dengan PEF dapat memperbaiki hasil ekstraksi minyak secara signifikan. Selain itu, perlakuan awal listrik ini memiliki pengaruh signifikan terhadap kualitas minyak, meningkatkan kandungan senyawa bioaktif dalam minyak yang diperoleh (Sarkis *et al.*, 2014). Peralatan PEF dapat dilihat pada **Gambar 2.3**.



Gambar 2.3 Peralatan PEF

Keterangan :

1. Jarak anoda katoda pada ruang perlakuan (*Treatment Chamber*)
2. Tombol *On/Off*
3. Tombol penunjuk frekuensi, waktu paparan, dan lebar pulsa
4. Layar petunjuk tegangan
5. Pengatur tegangan
6. Tombol pengatur frekuensi, waktu paparan, dan *start*

2.5 Perhitungan Energi Spesifik pada PEF (*Pulsed Electric Field*)

Energi merupakan suatu usaha untuk memindahkan muatan dari satu titik ke titik yang lain. Perlakuan awal *Pulsed Electric Field* (PEF) diharapkan dapat mengurangi konsumsi energi selama destilasi. Terdapat beberapa cara dalam menghitung

energi masukan pada *Pulsed Electric Field* (PEF). Menurut Ribiero *et al.* (2008), perhitungan energi masukan dihitung berdasarkan persamaan (2.1) Dimana, U merupakan tegangan (V), t merupakan waktu total proses (s), R_c merupakan resistansi (Ω), dan V_c merupakan volume dari *chamber* (cm^3).

$$W_{PEF} = \frac{U^2 \times t}{R_c \times V_c} \text{ (kJ/cm}^3\text{)} \dots\dots\dots (2.1)$$

Menurut Toepfl (2006), untuk perhitungan pulsa peluruhan eksponensial, energi spesifik juga dapat diperkirakan oleh energi yang tersimpan di kapasitor. Persamaan (2.2), di mana U menunjukkan tegangan (V), C merupakan kapasitor (F), f merupakan frekuensi (Hz) dan m merupakan kecepatan aliran masa (kg/s^{-1}), namun rasio kerugian pada resistor pelindung atau jaringan pembentuk pulsa dan kabel harus diperhitungkan.

$$W_{specific} = \frac{U^2 \times C}{2} \times f \times m \text{ (kJ/Kg)} \dots\dots\dots (2.2)$$

Menurut Buckow *et al.* (2011), perhitungan energi spesifik yang dibutuhkan untuk memecah sampel dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.3). Dimana, U merupakan tegangan (V), I merupakan kuat arus (A), τ merupakan lebar pulsa (s), n merupakan perhitungan perubahan panas pada dinding lapisan luar, dan m merupakan kecepatan aliran masa (kg/s^{-1})

$$Q_{spec} = \frac{U \times I \times \tau \times n}{m} \text{ (kJ/Kg)} \dots\dots\dots (2.3)$$

Menurut Putri dkk. (2009), semakin bertambahnya waktu perlakuan yang diberikan akan mengakibatkan meningkatnya energi masukan spesifik yang di butuhkan. Energi masukan spesifik yang dibutuhkan sebanding dengan waktu perlakuan yang di berikan. Peningkatan total waktu pengolahan akan menyebabkan energi spesifik masukan yang lebih besar. Menurut Buckow *et al.* (2011), besar energi yang dikeluarkan untuk memecah sel pada bahan juga tergantung dari jarak anoda-katoda yang diberikan dan volume *chamber*.

Menurut Gachovska *et al.* (2009), kenaikan kekuatan medan listrik menyebabkan turunnya energi yang dibutuhkan untuk mendapatkan tingkat kerusakan maksimal. Untuk meminimalkan konsumsi energi disarankan menggunakan energi per pulsa tertinggi dan jumlah pulsa yang lebih sedikit. Menurut Goettel *et al.* (2013), kuat medan listrik hampir tidak mempengaruhi suspensi pada alga sedangkan variasi input energi spesifik

sangat berpengaruh pada suspensi alga. Dimana untuk suspensi dengan kandungan biomassa 100 g berat kering per kg suspensi, membutuhkan masukan energi listrik yang berada pada kisaran 1 MJ / kg ganggang kering.

2.6 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu dengan menggunakan PEF telah dilakukan oleh Sukardi dkk. (2014), yaitu mengetahui pengaruh perbedaan kombinasi jenis perlakuan pendahuluan bahan dengan waktu PEF terhadap hasil ekstraksi dan penerapan waktu PEF yang tepat. Penelitian tersebut menggunakan faktor utama adalah jenis perlakuan pendahuluan bahan yaitu tanpa pengeringan awal (daun segar) dan dengan pengeringan awal (daun kering) serta 4 level waktu proses PEF (10 detik, 15 detik, 20 detik, dan 25 detik) pada setiap perlakuan pendahuluan. Perlakuan terbaik ada pada daun segar waktu PEF 15 detik dengan rendemen sebesar 0,92%, indeks bias 1,446, dan berat jenis 0,8583 serta kandungan berjumlah 5 komponen. Pada daun kering perlakuan terbaik pada waktu PEF 10 detik dengan rendemen sebesar 0,59%, indeks bias 1,451, dan berat jenis 0,8597 dengan kandungan berjumlah 6 komponen. Dari penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa perlakuan pendahuluan bahan dan lama waktu *Pulsed Electric Field* berpengaruh terhadap hasil minyak atsiri yang diperoleh.

Pada penelitian dalam Sukardi dkk. (2014), yaitu mengetahui kombinasi frekuensi PEF (*Pulsed Electric Field*) pada perlakuan pendahuluan dan waktu ekstraksi yang tepat. Faktor yang digunakan frekuensi PEF (1000 dan 1500 Hz) dan waktu ekstraksi (2, 4, 6 jam). Hasil perlakuan terbaik diperoleh dari kombinasi frekuensi PEF 1500 Hz dengan waktu ekstraksi 6 jam perlakuan terbaik tersebut menghasilkan rendemen sebesar 0,703%, nilai indeks bias 1,537; warna L 28,400; a 6,867; b 9,567, kandungan phenethylalcohol 46,41%, pentacosane 25,34%, dodecane 1,83%. Dari penelitian tersebut dapat diketahui bahwa frekuensi dan waktu ekstraksi berpengaruh terhadap hasil minyak atsiri yang diperoleh.

Pada penelitian oleh Shorstkii *et al.* (2015), yaitu meningkatkan hasil ekstraksi minyak pada biji bunga matahari. Paramater yang digunakan antara lain medan listrik (1, 3, 5, 6, 7

kV/cm), frekuensi berdenyut (0,5, 1,5, 5, 10, 15 Hz), lebar pulsa (10, 20, 30, 40, 50 s), waktu paparan (10, 30, 60, 90, 120 s) dan konduktivitas sampel (30, 22,5, 15, 7,5 dan 3,5 s/m) untuk kadar pelarut 10, 20, 30, 40 dan 50% berat masing-masing. Perlakuan PEF dilakukan pada suhu kamar, kira-kira 20°C. Perlakuan terbaik paparan PEF selama 30 s, medan listrik 7.0 kV/cm dengan frekuensi 15 Hz, kadar pelarut 40% berat dan lebar pulsa 30 s. Dari penelitian tersebut didapatkan bahwa rendemen minyak terbukti meningkat 9,1% dengan perlakuan pendahuluan menggunakan PEF.

Pada penelitian terdahulu oleh Gachovska *et al.* (2009), yaitu mengetahui hubungan antara tingkat kerusakan maksimum dan energi yang digunakan. Parameter yang digunakan kekuatan medan listrik (1,25, 1,90, dan 2,50 kV / cm). Kapasitansi kapasitor debit (0,5 sampai 1,5 μ F). Dari penelitian tersebut didapatkan hasil nomor pulsa mengalami peningkatan secara bertahap ke titik di mana impedansi menjadi konstan. Tidak ada peningkatan yang signifikan dalam tingkat kerusakan di luar 0,5 kJ energi terapan. Kenaikan kekuatan medan listrik menyebabkan turunnya energi yang dibutuhkan untuk mendapatkan tingkat kerusakan maksimal. Untuk meminimalkan konsumsi energi untuk tingkat kerusakan tertentu pada alfalfa, sangat diharapkan untuk memiliki energi per pulsa tertinggi dan jumlah pulsa yang lebih sedikit.

Penelitian terdahulu oleh Putri dkk. (2009), yang bertujuan untuk mendesain pembangkit pulsa tegangan tinggi dengan menggunakan *high voltage transformator* pada pasteurisasi sari buah apel berbasis *pulsed electric field* (PEF) dengan pengaturan waktu pengolahan serta menganalisis kebutuhan energi spesifik masukan selama proses dan perubahan jumlah mikroba yang terkandung dalam sari buah apel hasil pasteurisasi dengan variasi waktu pengolahan. Berdasarkan penelitian didapatkan hasil pengukuran yang menunjukkan tegangan dan arus rata-rata yang dihasilkan rangkaian sebesar 17 kV dan 0,48 mA. Kuat medan listrik yang dikirim ke *chamber* sebesar 0,65 kV/cm. Semakin lama waktu pengolahan PEF maka total mikroba yang dikandung juga semakin turun tetapi energi spesifik masukan yang dibutuhkan akan meningkat. Penurunan total mikroba

terbesar pada waktu pengolahan 60 detik sebesar 93,53% yang membutuhkan energi spesifik sebesar 175 KJ/cm³.

2.7 Hipotesis

Diduga kombinasi perlakuan lama paparan PEF dan lama destilasi yang diberikan pada biji pala utuh akan meningkatkan rendemen dan kualitas minyak biji pala yang diperoleh.



BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Pelaksanaan

Penelitian dilakukan bulan Juli 2017 sampai Februari 2018. Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknologi Agrokimia, Jurusan Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya. Pengujian GC-MS dilakukan di Laboratorium Sentral-FMIPA, Universitas Negeri Malang.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1 Alat Penelitian

Alat yang digunakan untuk pembuatan minyak adalah pipet tetes, kain saring, timbangan, corong, botol kaca gelap 100 ml, LPG, destilator uap-air, generator PEF. Alat yang dibutuhkan untuk analisis antara lain, refraktometer, piknometer, pipet tetes, gelas ukur, tabung reaksi, dan peralatan *Gas Chromatography and Mass Spectrometry* (GC-MS).

3.2.2 Bahan Penelitian

Biji pala yang digunakan sebagai bahan penelitian merupakan biji pala dengan cangkang yang diperoleh dari petani pala di daerah Aceh.

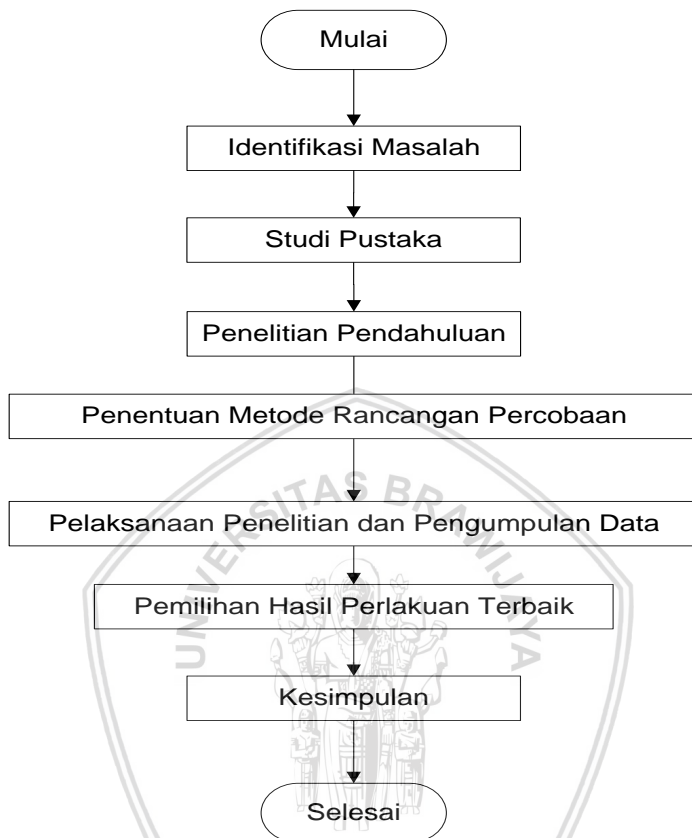
3.3 Batasan Masalah

1. Penelitian pembuatan minyak biji pala dilakukan pada skala laboratorium.
2. Biji pala yang digunakan yaitu biji pala dalam keadaan utuh dengan cangkang yang berasal dari Aceh.
3. *Pretreatment* PEF dilakukan dengan aliran listrik DC, tegangan 5000 volt, frekuensi 5000 Hz dan jarak anoda katoda 20 cm.

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian dapat dilihat pada **Gambar 3.1**



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.4.2 Identifikasi dan Perumusan Masalah

Identifikasi dan perumusan masalah bertujuan sebagai arahan yang jelas kepada peneliti untuk menentukan langkah yang akan diambil selanjutnya. Identifikasi masalah pada penelitian ini yaitu agar mendapatkan hasil rendemen minyak yang lebih banyak dan kualitas yang baik. Oleh karena itu, didapatkan rumusan masalah antara lain bagaimana kombinasi yang tepat antara lama destilasi dan lama paparan PEF pada biji pala utuh untuk meningkatkan rendemen minyak.

3.4.3 Studi Pustaka

Studi Pustaka dilakukan untuk mempelajari penelitian terdahulu yang dapat menjadi rujukan, ataupun mengumpulkan informasi berupa teori-teori yang mendukung penelitian. Studi pustaka dilakukan dengan cara mempelajari literatur-literatur yang berhubungan dengan objek pembahasan seperti buku, jurnal dan lain-lain. Informasi dan data yang dikumpulkan meliputi informasi tentang minyak atsiri, biji pala, *generator* PEF, proses destilasi, pengujian, serta analisisnya.

3.4.4 Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan dilakukan dengan mengidentifikasi dan merumuskan masalah untuk menentukan penelitian selanjutnya. Dilakukan dengan menentukan faktor apa yang akan diteliti, selanjutnya menentukan level faktor yang akan diteliti.

3.4.5 Rancangan Percobaan

Analisa data dilakukan dengan menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) dengan 2 faktor yaitu faktor A dan faktor B. Faktor A merupakan lama paparan PEF terdiri dari 3 level yaitu 240 detik, 360 detik, dan 480 detik. Faktor B merupakan lama destilasi yang terdiri dari 3 level yaitu 6 jam, 10 jam, dan 14 jam. Dari kedua faktor tersebut didapatkan kombinasi antara faktor A dan faktor B sebanyak 9 perlakuan yang akan diulang 3 kali, sehingga terdapat 27 satuan percobaan. Kombinasi perlakuan dapat dilihat pada **Tabel 3.1**.

Faktor I : Lama paparan PEF (A)

A1 = 240 detik

A2 = 360 detik

A3 = 480 detik

Faktor II : Lama destilasi (B)

B1 = 6 jam

B2 = 10 jam

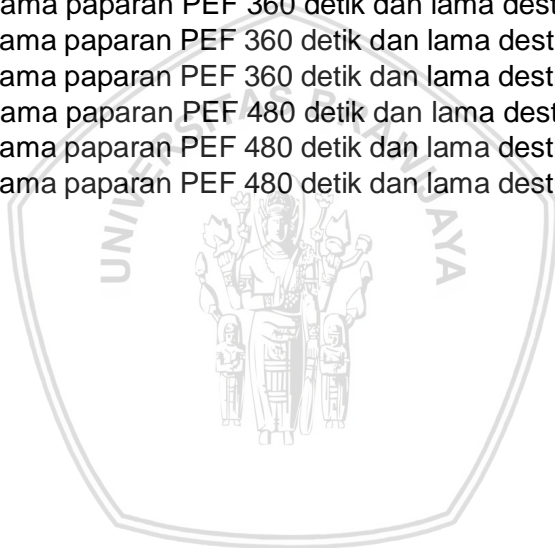
B3 = 14 jam

Tabel 3.1 Kombinasi Perlakuan Penelitian

Lama Destilasi	Lama Paparan PEF		
	A1	A2	A3
B1	A1B1	A2B1	A3B1
B2	A1B2	A2B2	A3B2
B3	A1B3	A2B3	A3B3

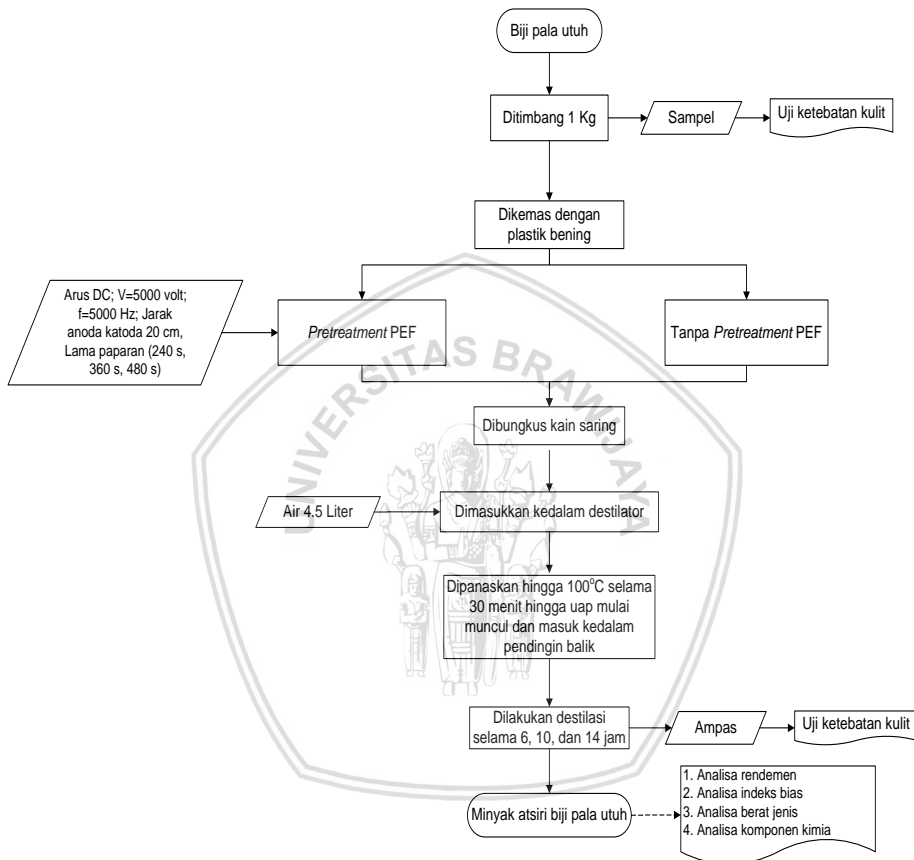
Kombinasi dari masing-masing perlakuan sebagai berikut:

- A1B1 : lama paparan PEF 240 detik dan lama destilasi 6 jam
- A1B2 : lama paparan PEF 240 detik dan lama destilasi 10 jam
- A1B3 : lama paparan PEF 240 detik dan lama destilasi 14 jam
- A2B1 : lama paparan PEF 360 detik dan lama destilasi 6 jam
- A2B2 : lama paparan PEF 360 detik dan lama destilasi 10 jam
- A2B3 : lama paparan PEF 360 detik dan lama destilasi 14 jam
- A3B1 : lama paparan PEF 480 detik dan lama destilasi 6 jam
- A3B2 : lama paparan PEF 480 detik dan lama destilasi 10 jam
- A3B3 : lama paparan PEF 480 detik dan lama destilasi 14 jam



3.5 Pelaksanaan Penelitian

3.5.1 Diagram Alir Destilasi Pada Biji Pala Dengan dan Tanpa Perlakuan PEF



Gambar 3.2 Diagram alir destilasi pada biji pala dengan dan tanpa perlakuan PEF

3.5.2 Destilasi Pada Biji Pala Tanpa Perlakuan PEF (Perlakuan Kontrol)

1. Menyiapkan biji pala utuh dalam kondisi kering.
2. Menimbang biji pala utuh seberat 1 Kg kemudian dimasukkan kedalam plastik bening.

3. Membersihkan dan mengisi air pada tabung destilator ± 4.5 liter.
4. Mengeluarkan biji pala utuh yang sudah di PEF serta membungkus menggunakan kain saring dan dimasukkan kedalam tabung destilator.
5. Mengunci rapat bagian penutup destilator agar air tidak menguap.
6. Memanaskan destilator pada suhu 100°C (30 menit), hingga uap mulai muncul dan masuk kedalam pendingin balik.
7. Melakukan destilasi uap-air selama 6, 10, 14 jam (dihitung dari tetesan minyak pertama).
8. Memisahkan minyak yang diperoleh dari residu secara manual dan dilakukan analisa rendemen, indeks bias, dan berat jenis.
9. Menganalisa komponen kimia (GC-MS) pada perlakuan terbaik.

Diagram alir destilasi pada biji pala dengan perlakuan PEF dapat dilihat pada **Gambar 3.2**.

3.5.3 Destilasi Pada Biji Pala dengan Perlakuan PEF

1. Menyiapkan biji pala utuh dalam kondisi kering.
2. Menimbang biji pala utuh seberat 1 Kg kemudian dimasukkan kedalam plastik bening.
3. Melakukan perlakuan pendahuluan PEF dengan aliran arus DC, tegangan 5000 volt, jarak anoda katoda 20 cm, frekuensi 5000 Hz, serta lama paparan 240, 360, dan 480 detik.
4. Membersihkan dan mengisi air pada tabung destilator ± 4.5 liter.
5. Mengeluarkan biji pala utuh yang sudah di PEF serta membungkus menggunakan kain saring dan dimasukkan kedalam tabung destilator.
6. Mengunci rapat bagian penutup destilator agar air tidak menguap.
7. Memanaskan destilator pada suhu 100°C (30 menit), hingga uap mulai muncul dan masuk kedalam pendingin balik.
8. Melakukan destilasi uap-air selama 6, 10, 14 jam (dihitung dari tetesan minyak pertama).

9. Memisahkan minyak yang diperoleh dari residu secara manual dan dilakukan analisa rendemen, indeks bias, dan berat jenis.
10. Menganalisa komponen kimia (GC-MS) pada perlakuan terbaik.

Diagram alir destilasi pada biji pala dengan perlakuan PEF dapat dilihat pada **Gambar 3.2**.

3.6 Pengujian dan Analisis Data

3.6.1 Pengujian

a. Prosedur Pengukuran Ketebalan Kulit Biji Pala

Pengukuran ketebalan kulit biji pala dilakukan untuk mengetahui kerusakan yang diakibatkan PEF. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan jangka sorong dengan mengambil sampel kulit biji pala sebanyak 10 sampel. Penggunaan jangka sorong sebagai berikut:

- Menjepit biji pala pada kedua rahang jangka sorong
- Membaca skala tetap yang sejajar dengan nol pada skala nonius
- Membaca garis skala nonius yang tepat berhimpit dengan skala utama
- Mencatat nilai yang ditunjukkan pada skala nonius dan skala utama
- Hasil dapat dilihat dengan menggabungkan skala utama dan skala nonius

b. Prosedur Kadar Air

Pengukuran kadar air dilakukan untuk mengetahui kandungan air dalam bahan. Pengukuran kadar air dilakukan dengan cara berikut (AOAC, 1999):

- Mengeringkan cawan kosong dalam oven pada suhu 105 °C
- Mendinginkan dengan desikator selama 30 menit
- Menimbang berat cawan kemudian menimbang berat sampel sebanyak 20 gram dan dimasukkan dalam cawan kosong.
- Memasukkan cawan yang berisi sampel dalam oven pada suhu 105 °C selama 3 jam.

- Mendinginkan cawan berisi sampel dalam desikator.
- Menimbang kembali cawan yang berisi sampel.
- Kadar air dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$\text{Rendemen (\%)} = \frac{b - (c - a)}{(c - a)} \times 100\%$$

Keterangan :

a = cawan kosong (gr)

b = bahan sebelum dikeringkan (gr)

c = cawan + bahan (gr)

c. Prosedur Uji Rendemen

Menurut SNI (1998), penghitungan rendemen minyak dilakukan berdasarkan volume minyak atsiri yang dihasilkan (ml) dari setiap satuan berat bahan yang didestilasi. Nilai rendemen minyak dapat dihitung menggunakan rumus:

$$\text{Rendemen minyak (\%)} = \frac{\text{volume minyak (g)}}{\text{berat bahan (g)}} \times 100\%$$

d. Prosedur Uji Indeks Bias

Menurut AOAC (1980), analisa indeks bias minyak dapat dilakukan menggunakan refraktometer. Pengukuran indeks bias dilakukan pada suhu $\pm 25^\circ\text{C}$ atau suhu ruang. Indeks bias pada suhu tertentu dapat diperoleh dengan perhitungan menggunakan rumus:

$$R = R' + K T' - T$$

Keterangan:

R = Pembacaan skala pada suhu $T^\circ\text{C}$

R' = Pembacaan skala pada suhu $T'^\circ\text{C}$

K = Faktor Koreksi, 0.000385 (minyak) 0.000365 (lemak)

T' = suhu dimana R' akan dicari $^\circ\text{C}$

e. Prosedur Uji Berat Jenis

Menurut SNI (2006), berat jenis minyak merupakan perbandingan antara berat minyak dengan air pada volume air yang sama dengan volume minyak. Pengukuran berat jenis ideal

dilakukan pada suhu 20°C. Pengukuran berat jenis dilakukan menggunakan piknometer dengan prosedur sebagai berikut :

- Membersihkan piknometer dengan etanol dan dikeringkan.
- Menimbang piknometer kosong
- Mengisi piknometer dengan aquades dan mencelupkan piknometer kedalam penangas air pada suhu $\pm 20^\circ\text{C}$ selama 30 menit kemudian ditutup.
- Menimbang piknometer yang berisi aquades.
- Mengosongkan piknometer dan membersihkan dengan etanol kemudian dikeringkan.
- Mengisi piknometer dengan minyak atsiri sampai penuh dan mencelupkan piknometer kedalam penangas air pada suhu $\pm 20^\circ\text{C}$ selama 30 menit kemudian ditutup.
- Menimbang piknometer berisi minyak atsiri.
- Menghitung berat jenis minyak menggunakan rumus:

$$\text{Berat jenis} = \frac{\text{bobot piknometer dan minyak} - \text{bobot piknometer kosong}}{\text{bobot piknometer dan air} - \text{bobot piknometer kosong}}$$

3.6.2 Analisis Data

Pengolahan dan analisis data dilakukan menggunakan analisis ragam atau ANOVA (*Analysis of Variant*). Analisis ragam digunakan untuk melihat interaksi pada tiap faktor. Jika terdapat interaksi maka dilakukan uji DMRT (*Duncan Multiple Range Test*). Selang kepercayaan yang digunakan adalah 95% atau $\alpha = 0,05$.

3.7 Perhitungan Energi Masukan

Perhitungan energi masukan digunakan untuk menghitung berapa energi yang dibutuhkan untuk memecah sel-sel pada biji pala utuh sehingga dapat menghasilkan minyak. Menurut Ribiero *et al.* (2008), perhitungan energi masukan dihitung berdasarkan Persamaan 1:

$$W_{PEF} = \frac{U^2 \times t}{R_c \times V_c}$$

Keterangan :

U = Tegangan (kV)

- t = Waktu total proses (s) = frekuensi x waktu x
duty cycle x 1/f
 R_c = Resistansi (Ω) (*stainless steel*)
 V_c = Volume *chamber* (cm^3)

3.8 Pemilihan Perlakuan Terbaik

Pemilihan perlakuan terbaik dilakukan dengan menggunakan metode Zeleny (1982) yaitu:

1. Menentukan nilai ideal pada masing-masing parameter
2. Menghitung derajat kerapatan (d^*i) masing-masing parameter
3. Menghitung jarak kerapatan dengan asumsi semua parameter penting, jarak kerapatan (λ) dihitung berdasarkan jumlah parameter pada masing-masing perlakuan dengan cara:

$$\lambda = \frac{1}{\sum \text{parameter}}$$

$$L1 = 1 - \sum (\lambda \times d^*i)$$

$$L2 = \sum (\lambda^2 \times (1-d^*i))^{1/2}$$

$$L^\infty = \text{nilai maks } (\lambda \times (1-d^*i))$$

4. Memilih perlakuan terbaik dari perlakuan yang memiliki nilai $L1$, $L2$, dan L^∞ minimal.

3.9 Analisa Komponen Kimia

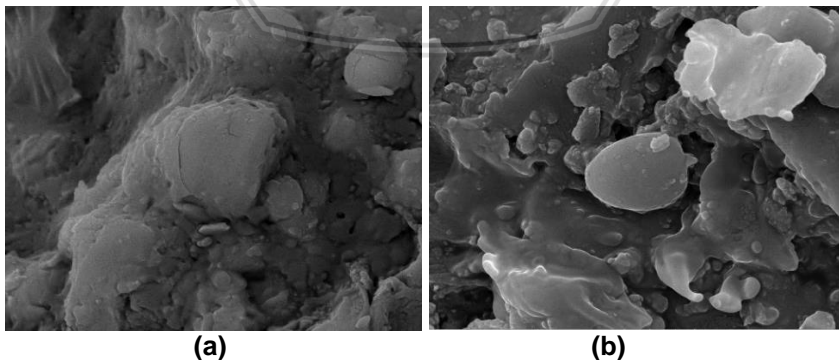
Hasil perlakuan terbaik dan perlakuan kontrol akan dilakukan analisa komponen kimia. Analisa tersebut dilakukan dengan menggunakan GC-MS. Prosedur analisa GC-MS menurut Pavia *et al.* (2006) adalah sebagai berikut :

- Preparasi sampel
- Menginjeksikan campuran larutan ke kolom GC lewat *heated injection port*.
- GC *separation*, campuran dibawa gas pembawa (biasanya Helium) dengan laju alir tertentu melewati kolom GC yang dipanaskan dalam pemanas.
- MS *detector*, *spectra massa* dari senyawa yang tidak diketahui dapat teridentifikasi dengan referensi komputerisasi.
- *Scanning, spectra massa* dicatat secara reguler dalam interval 0,5 - 1 detik selama pemisahan GC dan disimpan dalam sistem instrumen data untuk digunakan dalam analisis.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perubahan Membran Sel Akibat Perlakuan PEF

Perubahan struktur jaringan biji pala dengan dan tanpa PEF dapat dilihat pada **Gambar 4.1**. Berdasarkan **Gambar 4.1** dapat dilihat bahwa pada perlakuan kontrol (tanpa PEF) struktur jaringan masih tetap utuh dan tidak ditemui kerusakan yang berarti. Hal sebaliknya terjadi pada perlakuan PEF dengan tegangan 2000 volt selama 20 detik ditemukan terjadi kerusakan struktur jaringan yang masif. Penerapan PEF mampu merusak membran sel dalam biji pala sehingga apabila dilakukan proses ekstraksi, minyak di dalam sel akan keluar secara maksimal dan meningkatkan rendemen yang dihasilkan. Pernyataan ini juga dikemukakan oleh Jonasitz dan Knorr (2010), yang menyatakan bahwa, rusaknya bahan akan mempermudah keluarnya senyawa dalam bahan saat proses ekstraksi. Struktur jaringan biji pala dapat dilihat dengan menggunakan *scanning electron microscope* (SEM). Menurut Jelin *et al.* (2015), SEM merupakan salah satu alat jenis mikroskop elektron yang digunakan untuk mengidentifikasi bentuk nanopartikel suatu bahan. Menurut Pataro *et al.* (2011), tegangan listrik dapat menyebabkan terjadinya lubang pada dinding sel akibat aliran listrik sedangkan sel yang tidak dialiri listrik tidak ditemui lubang pada dinding selnya.



Gambar 4.1. Perubahan Struktur Jaringan Biji Pala (a) Tanpa PEF (10.000x) (b) Perlakuan PEF (V= 2000 volt; waktu 20 detik) (10.000x)

Penerapan tegangan tinggi pada bahan biji pala mengakibatkan elektroporasi yaitu terjadinya "*gate ion channels*". Dimana, *gate ion channels* sendiri merupakan peristiwa terjadinya pergerakan ion dalam bahan akibat adanya perbedaan potensial di luar dan di dalam dinding sel. Menurut Bezanilla (2005), terjadinya perubahan konsentrasi di luar sel akan mengakibatkan terjadinya pergerakan ion yang melintas pada membran sel hingga terjadi kesetimbangan. Menurut Schow *et al.* (2012), pergerakan ion-ion tersebut mengakibatkan membuka dan menutupnya pori-pori yang terdapat pada dinding sel. Pergerakan ion di dalam sel mengakibatkan terjadi peningkatan sifat polaritas dan terbentuknya pori-pori yang lebih besar dan masif pada dinding sel.

4.2 Pengaruh Perlakuan PEF dan Tanpa PEF

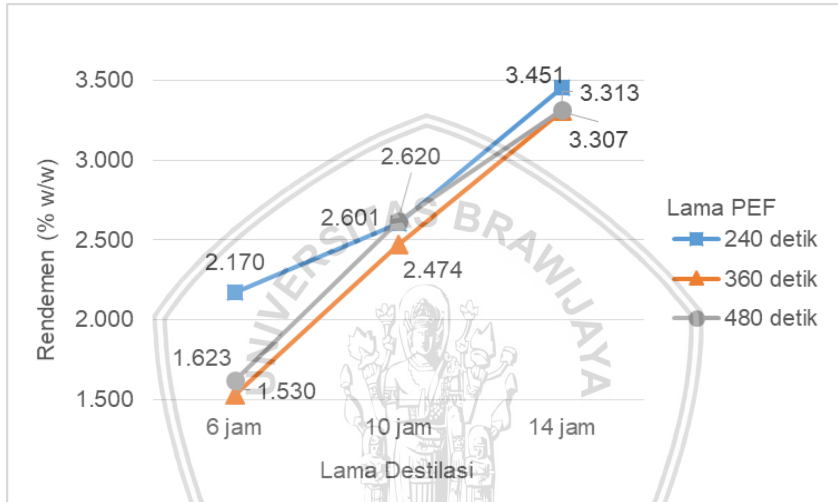
4.2.1 Rendemen Perlakuan PEF dan Tanpa PEF

Rendemen merupakan jumlah minyak yang dihasilkan selama proses penyulingan. Rendemen minyak pala dengan perlakuan PEF berkisar antara 1,5 - 3,5 (% w/w) atau 1.37-3.92 (% v/w) dengan lama destilasi (6, 10, 14 jam). Rendemen secara rinci dapat dilihat pada **Lampiran 1**. Berdasarkan data yang didapat menunjukkan bahwa semakin lama waktu destilasi maka rendemen yang dihasilkan akan semakin banyak. Tetapi, semakin lama paparan PEF belum tentu diikuti peningkatan rendemen yang juga semakin banyak. Grafik rendemen minyak pala dapat dilihat pada **Gambar 4.2**.

Pada **Gambar 4.2**, dapat dilihat bahwa rendemen minyak cenderung semakin meningkat sebanding dengan proses penyulingan yang semakin lama. Rendemen tertinggi pada perlakuan PEF selama 240 detik dengan destilasi 14 jam sebesar 3.45 (% w/w) dan terendah pada perlakuan PEF selama 360 detik dengan destilasi selama 4 jam sebesar 1.53 (% w/w). Menurut Ginting (2004), semakin lama waktu penyulingan akan mengakibatkan semakin banyak panas dan tekanan yang diterima bahan untuk menguapkan minyak dari bahan sehingga menghasilkan rendemen yang semakin naik.

Dari **Gambar 4.2**, lama PEF tidak terlalu berpengaruh pada rendemen yang dihasilkan. Menurut Cerdan *et al.* (2013),

pengaruh penerapan PEF berbeda tergantung pada varietas tanaman yang digunakan. Lama PEF memiliki hubungan dengan energi masukan yang dibutuhkan untuk mendapatkan rendemen yang tinggi. Menurut Pataro *et al.* (2011), penggunaan frekuensi yang tinggi akan meningkatkan rendemen yang didapatkan karena peningkatan frekuensi menyebabkan membran sel menjadi kurang tahan terhadap aliran arus.



Gambar 4.2. Grafik Rendemen Minyak Pala Antar Faktor

Berdasarkan ANOVA (*Analisis of Variance*) didapatkan kesimpulan bahwa kedua faktor (lama PEF dan lama destilasi) tidak berpengaruh secara signifikan terhadap rendemen minyak pala dikarenakan nilai signifikan lebih besar dari 0.05. Selain itu, lama PEF juga tidak signifikan terhadap rendemen minyak. Faktor lama destilasi memiliki pengaruh terhadap rendemen minyak, dikarenakan nilai signifikan lebih kecil dari 0.05. Hasil perhitungan ANOVA dapat dilihat pada **Lampiran 2**. Rerata pengaruh lama destilasi terhadap rendemen dapat dilihat pada **Tabel 4.1**.

Pada **Tabel 4.1**, dapat dilihat bahwa pada perlakuan destilasi 6 jam hingga perlakuan destilasi 14 jam memiliki nilai notasi yang berbeda. Artinya, perlakuan lama destilasi berpengaruh secara signifikan. Hal tersebut ditunjukkan pada notasi hasil uji DMRT

lama destilasi pada tingkat kepercayaan 95% (0.05). Pada **Tabel 4.1.** dapat diketahui bahwa rerata rendemen mengalami peningkatan dari perlakuan selama 6 jam hingga perlakuan destilasi selama 14 jam. Rendemen tertinggi terdapat pada perlakuan destilasi selama 14 jam.

Tabel 4.1. Rerata Pengaruh Lama Destilasi Terhadap Rendemen

Lama Destilasi (Jam)	Rata-rata	Notasi
6	1.7667	a
10	2.5778	b
14	3.3556	c

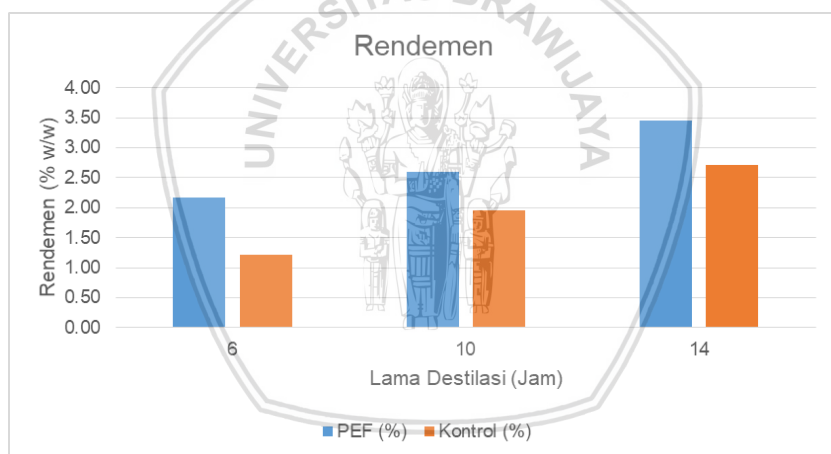
Keterangan : notasi yang sama menandakan tidak signifikan antar perlakuan

Gambar 4.3. merupakan grafik perbandingan rendemen perlakuan PEF selama 240 detik dan kontrol. Pada **Gambar 4.3** dapat dilihat bahwa perlakuan PEF menghasilkan rendemen yang lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan kontrol. Rendemen perlakuan PEF berkisar antara 1.5-3.5 (% w/w) atau 1.37-3.92 (% v/w) dalam waktu destilasi (6,10, dan 14 jam). Sedangkan, rendemen perlakuan kontrol (tanpa PEF) berkisar antara 1.7-2.7 (% w/w) atau 1.37-3.1 (% v/w). Terjadi kenaikan volume rendemen dengan menggunakan PEF sebanyak 26.45%-27.77%. Menurut Hidayati dkk. (2012), kandungan minyak biji pala berkisar 5-15 (% v/w). Diduga kadar air dan tebal kulit pada cangkang mempengaruhi rendemen yang didapat.

Ketebalan kulit biji pala rerata adalah 1,286 mm dan kondisi ini akan sangat berpengaruh terhadap parameter perlakuan PEF yang harus diterapkan baik dari aspek besarnya tegangan, frekuensi, waktu paparan maupun jarak katoda-anoda. Menurut Yuliani dan Satuhu (2012), kulit biji pala terdiri dari selulosa dan hemiselulosa serta beberapa jenis mineral, sehingga untuk membuka dan bahkan merusak dinding sel/jaringan diperlukan kondisi PEF yang optimal dan hal ini masih harus diteliti lebih lanjut. Hal ini terlihat dari belum optimalnya hasil minyak biji pala yang diperoleh dengan cara destilasi.

Perhitungan kadar air awal bahan biji pala dapat dilihat pada **Lampiran 3.** Kadar air yang terdapat dalam bahan sebesar

13,884%. Kadar air tersebut terbilang tinggi karena spesifikasi kadar air biji pala menurut SNI 01-0006-1993 maksimal 10%. Menurut Siarudin dan Widiyanto (2014), tingginya kandungan air dalam bahan segar akan menyebabkan proses penyulingan menjadi lama dan membutuhkan energi lebih banyak untuk menguapkan air dalam bahan tersebut. Perhitungan ketebalan kulit biji pala dapat dilihat pada **Lampiran 4**. Biji pala memiliki ketebalan kulit rata-rata sebesar 1,286 mm dan diameter biji utuh rata-rata 21,749 mm. Selain itu, menurut Nurdjannah (2007), biji pala yang baik digunakan untuk penyulingan merupakan biji pala dengan umur 4-5 bulan karena lebih lunak sehingga lebih mudah untuk mengeluarkan minyak dalam bahan. Pada penelitian ini menggunakan biji pala berumur 7-9 bulan.



Gambar 4.3. Grafik Perbandingan Rendemen Perlakuan PEF dan Kontrol

Pada penelitian juga dilakukan penyulingan biji pala dalam keadaan remah dengan perlakuan PEF. Rendemen yang didapatkan yaitu sebesar 4.37% atau 4.37 gram sedangkan rendemen biji utuh didapatkan tertinggi dengan perlakuan PEF yaitu 3.45% atau 34.5 gram. Harga minyak atsiri pala menurut BPS (2016), yaitu Rp 585.500,00. Apabila estimasi tenaga kerja untuk memecah dilapang adalah Rp 2000,00/Kg. Maka, masih terdapat selisih \pm Rp 3000,00 untuk perlakuan bahan utuh dan

bahan remah. Bahan dalam keadaan remah masih lebih menguntungkan dibanding dengan bahan dalam keadaan utuh.

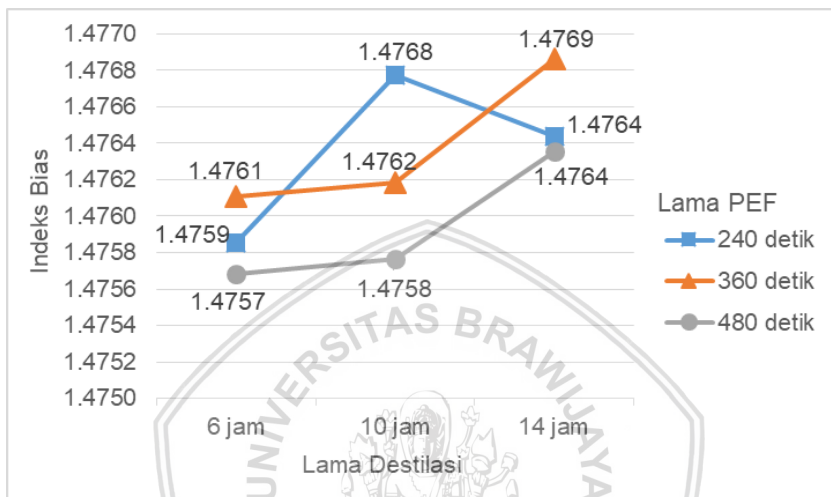
4.2.2 Indeks Bias Perlakuan PEF dan Tanpa PEF

Indeks bias merupakan salah satu parameter untuk mengukur tingkat kemurnian suatu minyak. Nilai indeks bias dipengaruhi oleh kekentalan dan kerapatan minyak. Jika kerapatan minyak semakin tinggi maka indeks biasanya akan semakin tinggi. Nilai indeks bias dengan perlakuan PEF berkisar antara 1.4757 -1.4769. Semua hasil pengujian yang didapat memenuhi standar indeks bias minyak pala menurut SNI. 2388-2006 yaitu sebesar 1.475-1.485. Data hasil pengujian indeks bias secara rinci dapat dilihat pada **Lampiran 5**. Grafik indeks bias antar faktor dapat dilihat pada **Gambar 4.4**.

Pada **Gambar 4.4** dapat dilihat bahwa nilai indeks bias tertinggi untuk perlakuan dengan PEF yaitu 1.4769 pada perlakuan lama PEF 360 detik dengan lama destilasi selama 14 jam. Nilai indeks bias terendah yaitu 1.4757 pada perlakuan lama PEF 480 detik dengan lama destilasi selama 6 jam. Menurut Nisak dkk. (2014), nilai indeks bias dipengaruhi oleh kekuatan dan kerapatan minyak, semakin tinggi kerapatan minyak, maka nilai indeks bias minyak tersebut makin tinggi. Oleh karena itu, nilai indeks bias digunakan sebagai parameter pengukuran minyak atsiri.

Berdasarkan grafik (**Gambar 4.4.**) semakin lama destilasi (6 jam - 14 jam), maka nilai indeks bias semakin besar, meskipun peningkatan ini tidak signifikan. Menurut Syauqiah dkk. (2008), hal ini disebabkan oleh semakin lama penyulingan, maka semakin banyak komponen dalam biji pala yang mempunyai titik didih tinggi ikut tersuling yaitu senyawa-senyawa *sesquiterpena*. Selain itu, menurut Hidayati dkk. (2012), nilai indeks bias minyak biji pala dipengaruhi oleh komposisi fraksi ringan yang terdiri dari senyawa *hidrokarbon monoterpena* ($C_{10}H_{16}$) dan fraksi berat yang terdiri dari *monoterpena teroksigenasi (terpenoid)* dan *hidrokarbon sesquiterpena (terpen)* ($C_{15}H_{12}$). Semakin banyak komposisi fraksi berat, maka kerapatan minyak akan semakin tinggi dan densitas minyak semakin besar. Jika kerapatan minyak meningkat, maka sinar yang menembus minyak akan dibiaskan mendekati garis normal dan nilai indeks bias minyak semakin

tinggi. Lama paparan PEF yang berbeda-beda (240, 360, dan 480) tidak mempengaruhi hasil yang ada. Menurut Hawa dan Putri (2011), penggunaan PEF cenderung tidak merubah kualitas bahan yang diberi perlakuan.



Gambar 4.4. Grafik Indeks Bias Minyak Pala Antar Faktor

Berdasarkan ANOVA (*Analisis of Variance*) didapatkan kesimpulan bahwa kedua faktor (lama PEF dan lama destilasi) tidak berpengaruh secara signifikan terhadap indeks bias minyak pala dikarenakan nilai signifikan lebih besar dari 0.05. Selain itu, lama destilasi juga tidak signifikan terhadap nilai indeks bias minyak. Faktor lama PEF memiliki pengaruh terhadap nilai indeks bias minyak, dikarenakan nilai signifikan lebih kecil dari 0.05. Hasil perhitungan ANOVA dapat dilihat pada **Lampiran 6**. Rerata pengaruh lama PEF terhadap nilai indeks bias dapat dilihat pada **Tabel 4.2**.

Pada **Tabel 4.2** dapat dilihat bahwa pada perlakuan lama PEF 240 detik hingga 360 detik memiliki notasi yang berbeda. Pada perlakuan lama PEF 480 detik menandakan terdapat pengaruh antar perlakuan karena memiliki notasi yang berbeda. Hal tersebut ditunjukkan pada notasi hasil uji DMRT lama PEF pada tingkat kepercayaan 95% (0.05). Rerata tertinggi ditunjukkan pada perlakuan lama PEF 360 detik kemudian diikuti

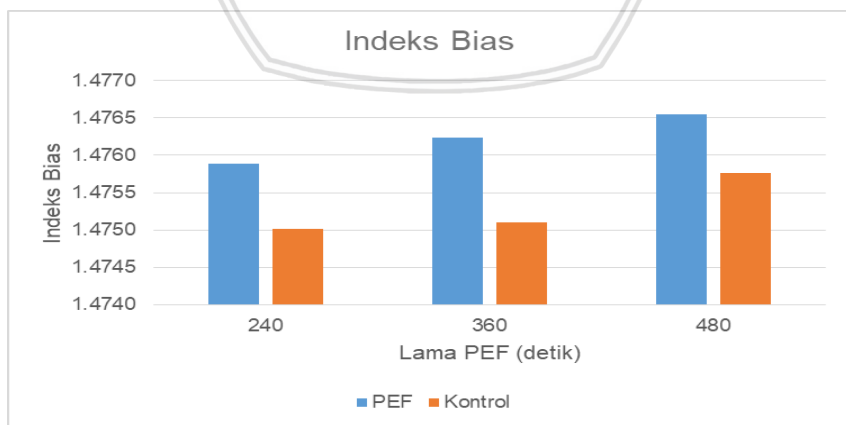
perlakuan lama PEF 240 detik dan perlakuan lama PEF 480 detik memiliki rerata terendah.

Tabel 4.2 Rerata Pengaruh Lama PEF Terhadap Nilai Indeks Bias

Lama PEF (s)	Rata-rata	Notasi
240	1.47644	b
360	1.47700	b
480	1.47511	a

Keterangan : Notasi yang sama menandakan tidak signifikan antar perlakuan

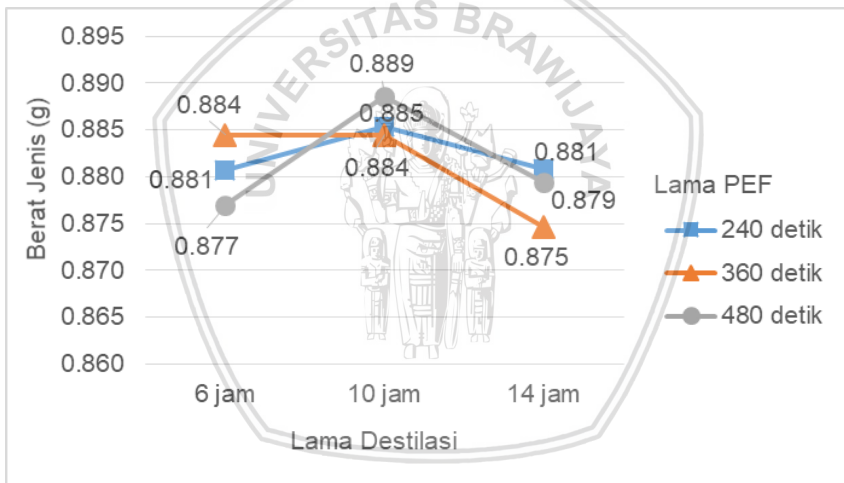
Gambar 4.5. merupakan grafik perbandingan nilai indeks bias perlakuan PEF dan kontrol (tanpa PEF). Pengujian indeks bias dengan perlakuan PEF berkisar antara 1.4757 -1.4769 dan indeks bias perlakuan kontrol (tanpa PEF) berkisar antara 1.4750-1.4758. Pada **Gambar 4.5.** dapat dilihat bahwa secara keseluruhan antara perlakuan PEF dan kontrol (tanpa PEF) terlihat bahwa perlakuan PEF mempengaruhi nilai indeks bias. Terlihat terjadi kenaikan nilai indeks bias dengan penggunaan PEF. Selain itu, nilai indeks bias tanpa PEF cenderung mendekati batas bawah SNI dan setelah dilakukan PEF indeks bias cenderung mendekati batas atas SNI. Semua nilai pengujian yang didapat memenuhi standar indeks bias minyak pala menurut SNI. 2388-2006 yaitu sebesar 1.475-1.485.



Gambar 4.5. Grafik Perbandingan Nilai Indeks Bias Perlakuan PEF dan Kontrol

4.2.3 Berat Jenis Perlakuan PEF dan Tanpa PEF

Berat jenis merupakan kumpulan berat molekul-molekul dari komponen penyusun minyak tersebut dalam volume yang sudah ditetapkan (Idrus dkk., 2014). Nilai berat jenis dengan perlakuan PEF berkisar 0.875-0.889 g/mL. Data hasil pengujian berat secara rinci dapat dilihat pada **Lampiran 7**. Nilai perhitungan berat jenis tidak semua memenuhi standar yakni berkisar antara 0.885 – 0.895 g/mL. Grafik pengujian berat jenis dapat dilihat pada **Gambar 4.6**. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa nilai berat jenis dengan perlakuan PEF terkecil yaitu 0.875g/mL pada perlakuan lama PEF 360 detik dengan lama destilasi 14 jam sedangkan nilai tertinggi yaitu 0.889 g/mL pada perlakuan lama PEF 480 detik dengan lama destilasi 10 jam.



Gambar 4.6. Grafik Berat Jenis Minyak Pala Antar Faktor

Menurut Syauqiah dkk. (2008), semakin tinggi berat jenis dari minyak tersebut, maka mutu dari minyak tersebut akan semakin baik. Nilai berat jenis dengan perlakuan rata-rata mengalami kenaikan hingga perlakuan lama destilasi 10 jam setelah penyulingan diatas 10 jam grafik cenderung mengalami penurunan yang menunjukkan bahwa terjadi penurunan kualitas dari minyak tersebut sedangkan pada perlakuan tanpa PEF semakin lama penyulingan cenderung mengalami penurunan nilai berat jenis. Hal ini diduga berat jenis suatu minyak

dipengaruhi oleh jenis dan jumlah komponen senyawa yang terkandung dalam minyak. Menurut Hawa dan Putri (2011), penggunaan PEF tidak merubah warna, bau, kandungan gizi, serta kualitas bahan yang diberi perlakuan.

Berdasarkan analisis ANOVA (*Analisis of Variance*) didapatkan kesimpulan bahwa kedua faktor (lama PEF dan lama destilasi) tidak berpengaruh secara signifikan terhadap berat jenis minyak pala dikarenakan nilai signifikan lebih besar dari 0.05. Selain itu, lama PEF juga tidak signifikan terhadap nilai berat jenis minyak. Hal serupa terjadi pada faktor lama destilasi yang tidak memiliki pengaruh terhadap nilai berat jenis minyak, dikarenakan nilai signifikan lebih besar dari 0.05. Perhitungan ANOVA dapat dilihat pada **Lampiran 8**. Perlakuan lama PEF dan lama destilasi memiliki nilai notasi yang sama. Artinya setiap perlakuan tidak signifikan atau tidak berpengaruh secara nyata. Hal tersebut ditunjukkan pada notasi hasil uji DMRT lama PEF dan lama destilasi pada tingkat kepercayaan 95% (0.05), seperti terlihat pada **Tabel 4.3**.

Tabel 4.3. Rerata Pengaruh Lama PEF dan Lama Destilasi Terhadap Berat Jenis

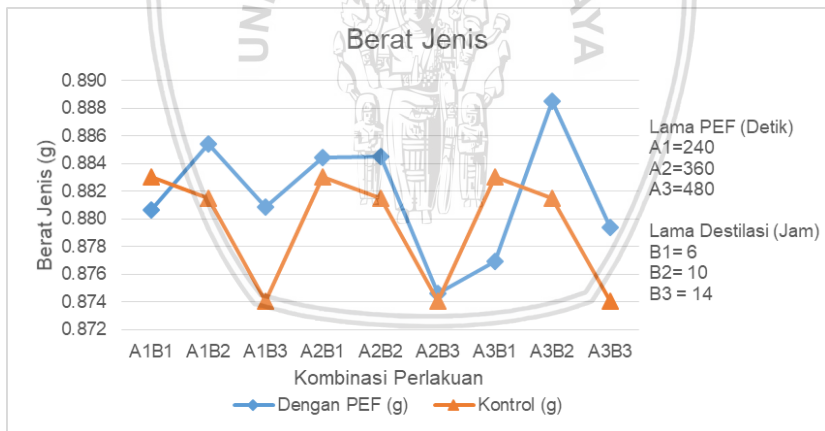
Perlakuan		Rata-rata	Notasi
Lama PEF (Detik)	240	0.88322	a
	360	0.88344	a
	480	0.87844	a
Lama Destilasi (Jam)	6	0.88067	a
	10	0.88611	a
	14	0.87833	a

Keterangan : Notasi yang sama menandakan tidak signifikan antar perlakuan

Pada **Tabel 4.3**, dapat dilihat bahwa pada perlakuan lama PEF 240 detik hingga 480 detik memiliki nilai yang konstan. Hal ini dapat dilihat dari notasi yang dihasilkan sama sehingga, antar perlakuan tidak berpengaruh secara signifikan. Hal tersebut ditunjukkan pada notasi hasil uji DMRT lama PEF pada tingkat kepercayaan 95% (0.05). Rerata tertinggi ditunjukkan pada perlakuan lama PEF 360 detik kemudian diikuti perlakuan lama PEF 240 detik dan perlakuan lama PEF 480 detik memiliki rerata terendah. Hal yang sama terjadi pada perlakuan destilasi 6 jam

hingga perlakuan destilasi 14 jam memiliki nilai notasi yang sama. Artinya, setiap perlakuan tidak berpengaruh secara signifikan. Hal tersebut ditunjukkan pada notasi hasil uji DMRT lama destilasi pada tingkat kepercayaan 95% (0.05).

Grafik perbandingan nilai berat jenis perlakuan PEF dan kontrol dapat dilihat pada **Gambar 4.7**. Pada **Gambar 4.7**, dapat dilihat bahwa nilai berat jenis dengan perlakuan PEF berkisar 0.875-0.889 g/mL sedangkan tanpa PEF berkisar antara 0.874-0.883 g/mL. Nilai berat jenis tidak semua memenuhi standar yakni berkisar antara 0.885 – 0.895 g/mL baik perlakuan dengan PEF maupun tanpa PEF. Menurut Nugraheni dkk. (2016), menyatakan bahwa metode penyulingan uap air dan destilasi air tidak berpengaruh terhadap berat jenis minyak atsiri. Semakin lama waktu destilasi tidak menjamin terjadi kenaikan pada kualitas minyak atsiri yang dihasilkan. Perlakuan PEF menunjukkan peningkatan berat jenis yang rata-rata lebih baik dibandingkan dengan perlakuan tanpa PEF.



Gambar 4.7. Grafik Perbandingan Nilai Berat Jenis Perlakuan PEF dan Kontrol

4.3 Perlakuan Terbaik

Pemilihan perlakuan PEF terbaik dengan menggunakan metode *Multiple atribute* (Zeleny, 1982). Data perhitungan terbaik dapat dilihat pada **Lampiran 9**. Pemilihan perlakuan terbaik didapatkan dari pengolahan data setiap parameter yaitu:

rendemen, indeks bias, berat jenis dan energi berdasarkan nilai rata-rata. Data hasil perhitungan energi masukan PEF secara rinci dapat dilihat pada **Lampiran 10**. Pada **Tabel 4.4** dapat dilihat hasil dari perhitungan energi yang didapatkan.

Tabel 4.4 Perhitungan Energi

Lama PEF (detik)	Energi W (kJ/cm ³)
240	2.986
360	4.479
480	5.971

Setelah didapatkan rata-rata setiap parameter tersebut, kemudian menentukan nilai ideal setiap parameter sebagai dasar pemilihan perlakuan terbaik. Kemudian dilakukan perhitungan derajat kerapatan tiap parameter, dilanjutkan dengan perhitungan jarak kerapatannya (L_1 , L_2 , dan L_∞). Hasil perlakuan terbaik didapatkan pada perlakuan A1B3 (lama paparan PEF 240 detik dan lama destilasi 14 jam). Hasil perlakuan terbaik dapat dilihat pada **Tabel 4.5**.

Tabel 4.5. Perlakuan Terbaik Perlakuan PEF

Parameter	Sampel Terbaik
Rendemen	3.45 (% w/w) atau 3.92 (% v/w)
Indeks bias	1.476
Berat Jenis	0.881 g/mL
Energi	2.986 kJ/cm ³

Hasil pengujian perlakuan terbaik didapatkan indeks bias sebesar 1.476 dan berat jenis 0.881 g/mL. Dari hasil pengujian tersebut nilai indeks bias sudah memenuhi SNI (SNI. 2388-2006), sedangkan untuk berat jenis belum memenuhi SNI. Hal tersebut dapat dipengaruhi oleh berat tiap komponen dalam minyak yang berbeda dan waktu destilasi yang terlalu lama, sehingga mengakibatkan kualitas dari minyak atsiri tersebut menurun. Selain itu, menurut Julianto (2016), adanya udara dalam minyak atsiri akan mempengaruhi berat jenis sampel minyak yang dihasilkan sehingga menyebabkan kesalahan dalam pengukuran berat jenis. Hasil perlakuan terbaik tersebut dibandingkan dengan

kontrol (tanpa PEF selama 14 jam). Perbandingan perlakuan terbaik dengan kontrol dapat dilihat pada **Tabel 4.6**.

Tabel 4.6. Perbandingan Perlakuan Kontrol dengan Sampel Terbaik

Parameter	Kontrol	Sampel Terbaik
Rendemen	2.7 (% w/w) atau 3.1 (% v/w)	3.45 (% w/w) atau 3.92 (% v/w)
Indeks bias	1.476	1.476
Berat Jenis	0.874 g/mL	0.881 g/mL

Berdasarkan **Tabel 4.6**, dapat dilihat bahwa perlakuan dengan menggunakan PEF dapat meningkatkan volume rendemen kurang lebih sebesar 26.45-27.77%. Minyak pala yang dihasilkan pada perlakuan kontrol memiliki kualitas indeks bias yang sudah memenuhi SNI, sedangkan berat jenis masih di bawah SNI. Jika dibandingkan dengan perlakuan terbaik untuk kualitas minyak pala sudah memenuhi SNI yang ada (indeks bias dan berat jenis). Energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan sampel terbaik yaitu sebesar 2.986 kJ/cm³.

4.4 Pengujian *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS)

Uji GC-MS bertujuan untuk mengetahui komponen kimia yang terkandung dalam minyak atsiri sebelum atau sesudah mengalami perlakuan. Terdapat dua hasil pengujian yaitu minyak dengan perlakuan PEF (lama PEF 240 detik) dan perlakuan kontrol (tanpa PEF) dengan waktu destilasi yang sama yaitu 14 jam dapat dilihat pada **Lampiran 11**. Menurut Rodianawati *et al.* (2015), komponen utama minyak atsiri pala adalah monoterpen hidrokarbon (61-88% sebagai α -pinene, β -pinene, sabinene) monoterpene teroksigenasi (5-15%), dan eter aromatik (2-18% seperti *myristicin*, *elemicin*, *safrole*). Menurut Riyadi dkk. (2014), bahwa komponen kimia utama dari minyak pala terdiri dari 9 komponen, yaitu α -pinen, β -pinen, sabinene, δ -3-Carene, limonen, γ -terpinene, terpineol, safrole, dan *myristicin*. Data pengujian GC-MS dapat dilihat pada **Tabel 4.7**.

Dari **Tabel 4.7** dapat dilihat bahwa komponen kimia yang terdapat pada minyak atsiri biji pala dengan perlakuan tanpa PEF

(kontrol) yaitu α -pinen sebesar 10.24%, *sabinene* sebesar 0.44%, γ -Terpinene sebesar 22.57%, *terpineol* sebesar 4.98, *safrole* sebesar 7.32, dan *myristicin* sebesar 12.87%. Pada perlakuan terbaik dengan menggunakan PEF menghasilkan komponen antara lain α -pinen sebesar 9.86%, *sabinene* sebesar 1.33%, *limonene* sebesar 0.25%, γ -Terpinene sebesar 20.11%, *terpineol* sebesar 5.65%, *safrole* sebesar 8.06, dan *myristicin* sebesar 13.11%. Komponen yang paling banyak ditemukan pada perlakuan kontrol maupun perlakuan terbaik yaitu γ -Terpinene secara berurutan sebesar 22.57 dan 20.11%.

Tabel 4.7 Data Pengujian GC-MS (Pala Utuh)

No	Komponen	Minyak pala perlakuan kontrol (Tanpa PEF) (%)	Minyak pala perlakuan terbaik (lama PEF 240 detik) (%)	ISO 3215-1998 (oil of nutmeg, Indonesian type) (%)	Selisih Perlakuan Kontrol dengan PEF
1	α -pinene	10.24	9.86	15 – 28	-0.38
2	β -pinene	-	-	13 – 18	-
3	<i>Sabinene</i>	0.44	1.33	14 – 29	+0.89
4	δ -3-Carene	-	-	0,5 – 2	-
5	<i>Limonene</i>	-	0.25	2 – 7	+0.25
6	γ -Terpinene	22.57	20.11	2 – 6	-2.46
7	<i>Terpineol</i>	4.98*	5.65*	2 – 6	+0.67
8	<i>Safrole</i>	7.32	8.06	1 - 2,5	-0.74
9	<i>Myristicin</i>	12.87	13.11	5 – 12	+0.24

Keterangan: (*) menunjukkan bahwa hasil sesuai dengan standar

Pada **Tabel 4.7** dapat dilihat bahwa presentase dari komponen-komponen tersebut ada yang mengalami penurunan maupun kenaikan presentase. Perubahan presentase tersebut tidak menunjukkan terjadi perubahan komponen minyak atsiri. Menurut Sukardi (2016), diduga bahwa perubahan presentase tersebut terjadi karena terjadi isomerisasi. Minyak atsiri termasuk komponen tunggal yang tiap komponennya dapat dilakukan fraksinasi. Sehingga, untuk presentase yang melebihi ISO dapat

dilakukan fraksinasi. Disisi lain harga jual komponen tersebut jauh lebih mahal.

Adapun manfaat tiap-tiap komponen antara lain, menurut Foti dan Ingold (2003), pemanfaatan γ -terpinen sebagai antioksidan yang menghambat peroksidasi asam linoleat dalam minyak pangan. *Terpineol* merupakan hasil sintesis dari α -pinene yang digunakan sebagai campuran pada industri kosmetik sebagai parfum, *shampoo* dan sabun sedangkan dalam industri farmasi sebagai anti jamur, anti serangga, pembersih dan deterjen (Daryono, 2015). Senyawa utama dari kelompok *hidrokarbon monoterpen* adalah pinen dan *sabinen*, dari kelompok eter aromatik adalah *myristicin*. Menurut Julianto (2016), *sabinene* adalah bisiklik alami monoterpena dengan rumus molekul $C_{10}H_{16}$. *Sabinene* merupakan salah satu senyawa kimia yang memberikan kontribusi terhadap pedasnya lada hitam dan minyak yang diperoleh dari pala. Saat dipanaskan dengan sulfat encer, *sabinene* dapat dikonversi menjadi *terpinene*. Selain itu, ketika dikocok dengan asam sulfat encer dapat dikonversi menjadi *terpineol-4* dan *terpin terpinene*. Menurut Megawati dan Kurniawan (2015), *limonene* merupakan cairan bening *hidrokarbon* diklasifikasikan sebagai terpen siklik yang memiliki bau yang kuat banyak digunakan sebagai pelarut dan pembersih. *Limonene* adalah terpen yang relatif stabil dan dapat disuling tanpa dekomposisi, meskipun pada suhu yang tinggi membentuk *isoprene*. Senyawa 3-carene memiliki bau manis dan tajam serta tidak larut dalam air tetapi larut dengan lemak dan minyak (Hidayati dkk. 2014).

Menurut Sipahelut dan Telussa (2011), miristisin dan *safrole* merupakan senyawa organik yang menjadi ciri khas dalam minyak atsiri dari buah pala, yang termasuk golongan aromatik *ether*. Dalam perdagangan apabila senyawa miristisin semakin rendah dan senyawa *safrole* semakin tinggi akan menurunkan harga jual. Menurut SNI (06-2388-2006), syarat kadar miristisin dalam minyak pala minimum 5%. Pada penelitian didapatkan nilai miristisin pada perlakuan kontrol sebesar 12.87% dan perlakuan PEF 13.11%. Hal ini membuktikan bahwa perlakuan PEF dapat menaikkan nilai miristisin. Nilai *safrole* yang didapatkan pada perlakuan kontrol sebesar 7.32% dan perlakuan PEF sebesar 8.06%. Nilai tersebut terbilang tinggi dikarenakan standar

kandungan *safrole* antara 1-2,5%. Menurut Soeroso (2012), senyawa *safrole* merupakan senyawa yang bersifat karsinogenik bila digunakan dalam jumlah tinggi, penggunaan pada bahan pangan tidak lebih dari 1 ppm atau 0.01%. Menurut Stojanovska *et al.* (2013), safrol memiliki cincin epoksida yang sangat aktif sehingga dapat dijadikan sebagai prekursor obat sintesis MDMA (*methylene Dioxy-Methyl Amphetamine*).

Menurut Soeroso (2012), berbedanya kandungan minyak pala secara umum ditentukan oleh spesies pala (faktor genetik), umur tanaman, kondisi ekologis (iklim, kesuburan tanah), proses ekstraksi yang dipakai, dan tindakan budidaya yang diberikan. Kondisi ekologis termasuk penentu utama disamping faktor genetik. Hal yang sama dikemukakan oleh Asyik dan Ima (2010), bahwa perbedaan cara penanganan pasca panen yang dilakukan seperti pengeringan, penyimpanan bahan olah, metode penyulingan dan penyimpanan minyak dapat mempengaruhi komposisi dan kandungan minyak pala.



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Penerapan tegangan tinggi mengakibatkan terjadinya "*gate ion channels*" yaitu terjadinya pergerakan ion dalam bahan akibat adanya perbedaan potensial diluar dan didalam dinding sel hingga terjadi kerusakan yang masif. Adanya kerusakan tersebut untuk mempermudah keluarnya minyak dalam bahan. Pada penelitian didapatkan rendemen minyak pala dengan perlakuan PEF dalam waktu destilasi 6, 10, dan 14 jam menghasilkan rendemen yang lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan tanpa PEF. Hal serupa terjadi pada nilai indeks bias dengan perlakuan PEF juga lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan tanpa PEF dan semua nilai indeks bias diatas sudah memenuhi standar. Hal tersebut dipengaruhi oleh kerapatan dari minyak. Selain itu, perlakuan PEF juga berpengaruh terhadap nilai berat jenis yang didapatkan. Nilai berat jenis yang didapatkan tidak semua memenuhi standar. Hal ini dikarenakan metode penyulingan uap-air tidak berpengaruh terhadap berat jenis. Tetapi, jika dibandingkan perlakuan PEF dengan perlakuan tanpa PEF. Perlakuan PEF cenderung meningkatkan nilai berat jenis yang didapatkan.

Dari kombinasi perlakuan lama PEF dan lama destilasi didapatkan perlakuan terbaik yaitu lama PEF 240 detik dan lama destilasi 14 jam. Hasil dari perlakuan terbaik terlihat bahwa peningkatan volume rendemen dengan menggunakan PEF sebanyak 26.45-27.77%. Nilai indeks bias yang didapatkan sudah memenuhi standar. Adanya peningkatan berat jenis pada perlakuan dengan menggunakan PEF. Energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan sampel terbaik yaitu sebesar 2.986 kJ/cm³. Perlakuan PEF juga mempengaruhi banyaknya komponen yang terdeteksi dikarenakan komponen tersebut mengalami isomerisasi.

5.2 Saran

Berdasarkan pengalaman saat pengujian di laboratorium dan hasil analisa pengujian maka terdapat beberapa saran yang dapat diberikan yaitu :

1. Perlu adanya perlakuan pendahuluan selain perlakuan PEF untuk memicu meningkatkan hasil rendemen minyak.
2. Perlu adanya tambahan waktu destilasi yang lebih lama untuk mengetahui titik stasioner rendemen yang didapatkan.
3. Menggunakan PEF dengan frekuensi dan voltase diatas 5000 agar terjadi kerusakan yang permanen.



DAFTAR PUSTAKA

- A'amun, M. 2013. **Karakteristik Kimia dan Isolasi Trimiristin Biji Pala Papua (*Myristica argentea*)**. Jurnal Litri 9(2):72-77.
- Armando, R. 2009. **Memproduksi 15 Minyak Atsiri Berkualitas**. Penebar Swadaya. Depok.
- Asgarpanah, J dan Kazemivash, N. 2012. ***Phytochemistry and Phamacologic Properties of Myristica fragrans Houitt:A Review***. Journal of Biotechnology 11(65):12787-12793.
- Aspan, R. 2008. **Taksonomi Koleksi Tanaman Obat Kebun Tanaman Obat Citeuteup**. BPOM RI. Jakarta.
- Association of Official Analitical Chemist (AOAC). 1980. ***Official Method of Analysis of The Association of Official Analitical of Chemist***. Arlington, Virginia, Published by The Association of Analitical Chemist, Inc. USA.
- Association of Official Analytical Chemist (AOAC). 1999. ***Official Methods of Analysis of Assocoation of Official Analytical Chemists***. Edition ke-15. Kenneth Helrich, USA.
- Asyik, N., dan Ima, A. 2010. **Karakterisasi Mutu Minyak Pala (*Nutmeg Oil*) Indonesia sebagai Bahan Baku Industri Flavour**. Jurnal Agriplus 2(2):146-155.
- Badan Standarisasi Nasional. 1993. SNI 01-0006-1993. **Pala**. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Badan Standarsasi Nasional. 2006. **SNI Minyak Pala No. 2388-2006**. BSN Jakarta.
- Bezanilla, F. 2005. ***Voltage Gated Ion Channels***. IEE Transactions on Nanobioscience 4(1):34-48.
- Buckow R. P., Bauman, S., Schroeder and Knoerzer, K. 2011. ***Effect of Dimensions and Geometry of Co-field and Co-linear Pulsed Electric Field Treatment Chambers on Electric Field Strenght and Energy Utiization***. Journal of Food Engineering 105:545-556.
- Cerdan, T. G., Arenzana, L. G., Lopez, N., Lopez, R., Saantamaria, P., dan Alfaro, I. L. 2013. ***Effect of Different Pulsed Electric Field Treatments on The Volatile Composition of Gaciano, Tempranillo and Geneche***

Gape Varieties. Journal of Inovative Food Science and Emerging Technologies 20:91-99.

Chalid, S. Y., Muawanah, A., Jubaedah, I. 2008. **Analisa Radikal Bebas Pada Minyak Goreng Pedagang Gorengan Kaki Lima.** *Jurnal Valensi* 1(2):82-86.

Darmadi, Riza, M., dan Lubis, M. R. 2015. **Optimasi Parameter Ekstraksi Oleoresin Dari Ampas Pala Menggunakan Response Surface Methodology (Optimization of Extraction Parameter of Oleoresin From Nutmeg Waste Through Response Surface Methodology).** *Jurnal Hasil Penelitian Industri* 28(1):1-8.

Daryono, E. D. 2015. **Sintesis α -Pinene Menjadi α -Terpineol Menggunakan Katalis H_2SO_4 Dengan Variasi Suhu Reaksi dan Volume Etanol.** *Jurnal Teknik Kimia USU* 4(2):1-6.

Faizal, M., Prastya, N., dan Rizky, A. 2009. **Pengaruh Jenis Pelarut, Massa Biji, Ukuran Partikel dan Jumlah Siklus Terhadap Yield Ekstraksi Minyak Biji Ketapang.** *Jurnal Teknik Kimia* 2(16):28-35.

Foti, M.C., dan Ingold, K.U. (2003). ***Mechanism of Inhibition of Lipid Peroxidation By γ -Terpinene, an Unusual and Potentially Useful Hydrocarbon Antioxidant*** . *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51 (9), 2758–2765.

Gachovska, T. K., Adedeji, A. A., and Ngadi, M. O. 2009. ***Influence of Pulsed Electric Field Energy on The Damage Degree in Alfalfa Tissue.*** *Journal of Food Engineering* 95 : 558–563.

Ginting, Sentosa. 2004. **Pengaruh Lama Penyulingan Terhadap Rendemen Dan Mutu Minyak Atsiri Daun Sereh Wangi.** *e-USU Repository*. Universitas Sumatra Utara.

Goettel, M., Eing, Christian., Gusbeth, C., Straessner, R., Frey, W. 2013. ***Pulsed Electric Field Assisted Extraction of Intracellular Valuables From Microalgae.*** *Jurnal Algal Research* 2:401–408.

Hawa, L. C., dan Putri, R. I. 2011. **Penerapan Pulsed Electric Field Pada Pasteurisasi Sari Buah Apel Varietas Ana: Kajian Karakteristik Nilai Gizi, Sifat Fisik, Sifat Kimiawi dan Mikrobial Total.** *Jurnal Agritech* 31(4):352-358.

- Hidayati, N., Ilmawati, H., dan Sara, E., 2012. **Penyulingan Minyak Biji Pala: Pengaruh Ukuran Bahan, Waktu dan Tekanan Penyulingan Terhadap Kualitas dan Rendemen Minyak**. Simposium Nasional RAPI XIV - 2015 FT UMS.
- Hidayati. 2012. **Distilasi Minyak Atsiri Dari Kulit Jeruk Pontianak dan Pemanfaatannya Dalam Pembuatan Sabun Aromaterapi**. Biopropal Industri 3(2):39-49.
- Hidayati, B. N., Julianto, T. S., dan Rubiyant, D. 2014. **Studi Perlakuan Reaksi Isomerisasi 3-Carene Menjadi 4-Carene Menggunakan Katalis Natrium-O-Klorotoluena**. Indonesian Journal of Chemical Research 2(1):10-17.
- Idrus, S., Kaimudin, M., Torry, R. F., dan Biantoro, F. 2014. **Isolasi Trimiristin Minyak Pala Banda Serta Pemanfaatannya Sebagai Bahan Aktif Sabun**. Jurnal Riset Industri 8(1):23-31.
- Ismiyarto, Ngadiwiyana, dan Mustika, R. 2009. **Isolasi, Identifikasi Minyak Atsiri Fuli Pala (*Myristica fragrans*) dan Uji Aktivitas Sebagai Larvasida**. Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi 12(1):23-30.
- Janositz, A and Knorr, D. 2010. **Microscopic Visualization of Pulsed Electric Fiels Induced Changes on Plant Cellular Level**. Innovative Food Science and Emerging Technologies 11:592-597.
- Jelin, F. J., Kumar, S. S., Malini, M., Vanaja, M., dan Annadurai, G. 2015. **Environment-Assisted Green Approach Agnps by Nutmeg (*Myristica Fragrans*): Inhibition Potential Accustomed to Pharmaceuticals**. EJBS 2 (4):258-274.
- Julianto, T., S. 2016. **Minyak Atsiri Bunga Indonesia**. Deepublish. Yogyakarta.
- Khozali, A., Supardi, S., dan Hastuti, D. 2016. **Analisa Usaha Penyulingan Minyak Daun Cengkeh (*Syzygium aromaticum*, syn. *Eugenia aromaticum*) (Studi Kasus di Kecamatan Sukorejo Kabupaten Kendal)**. Jurnal Mediagro 8(2):32-42.
- Lopez, N., Puertolas, E., Condon, S., Alvarez, I., and Raso, J. 2008. **Application of Pulsed Electric Fields For Improving The Maceration Process During Vinification of Red Wine: Influence of Grape Variety**. Eur Food Res Technol 227:1099–1107.

- Marzuki, I., Joefrie, B., Aziz, S., A., Agusta, H., dan Surahman, M. 2014. ***Physico-Chemical Characterization of Maluku Nutmeg Oil***. *International Journal of Science and Engineering* 7(1):61-64.
- Megawati dan Kurniawan, R. D. 2015. **Ekstraksi Minyak Atsiri Kulit Jeruk Manis (*Citrus Sinensis*) Dengan Metode Vacuum Microwave Asisted Hydrodistillation**. *Jurnal Alam Terbarukan* 4(2):61-67.
- Nisak, H., Wignyanto, dan Rahmah, N. L. 2014. **Ekstraksi Melati Putih Menggunakan Teknologi Kejut Listrik Terhadap Mutu Minyak Atsiri Concrete (Kajian Rasio Bahan Baku, Pelarut Heksana, dan Lama Kejutan Listrik)**. *Jurnal Industria* 3 (1):43 – 52.
- Nugraheni, K. S., Khasanah, L. U., Utami, R., dan Ananditho, B. 2016. **Pengaruh Perlakuan Pendahuluan dan Variasi Metode Destilasi Terhadap Karakteristik Mutu Minyak Atsiri Daun Kayu Manis (*C. Burmanii*)**. *Jurnal Teknologi Hasil Pertanian* 9 (2):51-64.
- Nurdjannah, N. 2007. **Teknologi Pengolahan Pala**. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian. Jakarta.
- Palijama, W., Riry, J., dan Wattimena, A., Y. 2012. **Komunitas Gulma Pada Pertanaman Pala (*Myristica Fragrans* H) Belum Menghasilkan dan Menghasilkan di Desa Hutumuri Kota Ambon**. *Jurnal Agrlogia* 1(2):134-142.
- Parthasarathy, V. A., Chempakam, B., dan Zachariah T. J. 2008. ***Chemistry of Spices***. CAB International. London.
- Pataro, G., Ferrari G., dan Donsi, F. 2011 ***Mass Transfer Enhancement by Means of Electroporation, Mass Transfer in Chemical Engineering Processes***. *Intechopen Europe*. Kroasia.
- Pavia, D. L., Lampman, G. M., Critz, G. S., dan Engel, R. G. 2006. ***Introduction to Organic Laboratory Techniques***. Thomson Brooks Publishing. New York.
- Putri, R. I., Hawa, C. L., Syamsiana, I. N., dan Meilany, D. 2009. **Aplikasi Mikrokontroler Pada Pembangkit Pulsa Tegangan Tinggi dengan Pengaturan Waktu Pengolahan Untuk Pasteurisasi Sari Buah Apel**. *Jurnal INKOM* 3(1-2):31-40.

- Ribiero, W. M., Noci, D. A., and Cronin. 2008. ***Reduction of Staphylococcus aureus and Quality Change in Apple Juice Processed By Ultraviolet Irradiation, Pre-heating and Pulse Electric Field.*** Journal of Food Engineering 89:267273.
- Rodianawati, I., Hastuti, P., dan Cahyanto, M. N. 2015. ***Nutmeg's (Myristica fragrans Houtt) Oleoresin: Effect of Heating to Chemical Compositions and Antifungal Properties.*** Procedia Food Science 3:244-254.
- Ruhnayat, A dan Martini, E. 2015. ***Pedoman Budi Daya Pala pada Kebun Campur.*** World Agroforestry Centre (ICRAF) Southeast Asia Regional Program. Bogor.
- Rusli, M. S. 2010. ***Sukses Memproduksi Minyak Atsiri.*** AgroMedia Pustaka. Jakarta.
- Sarkis, J. R., Boussetta, N., Tessaro, I. C., Marczak, L. D. F., dan Vorobiev, E. 2014. ***Application of Pulsed Electric Fields and High Voltage Electrical Discharges for Oil Extraction From Sesame Seeds.*** Journal of Food Engineering 153:20–27.
- Sawitri, L., Rohanah, A., dan Panggabean, S. 2014. ***Uji Alat Pengepres Minyak (Oil Press) Pada Beberapa Komoditi.*** Jurnal Rekayasa Pangan dan Pertanian 2(4):102-109.
- Schow, E. V., Freitas, J. A., dan Nizkorodov, A., White, S. H., dan Tobias, D. J. 2012. ***Coupling Between The Voltage Sensing and Pore Domains in a Voltage gate Potassium Channel.*** Biochimica et Biophysica Acta Page:1726-1736.
- Shorstkii, I., Mirshekarloo M. S., dan Koshevoi, E. 2015. ***Application Of Pulsed Electric Field For Oil Extraction From Sunflower Seeds: Electrical Parameter Effects on Oil Yield.*** Journal of Food Process Engineering 40(1):1-7.
- Siarudin, M dan Widiyanto, A. 2014. ***Karakteristik Penguapan Air dan Kualitas Minyak Pada Daun Kayu Putih Jenis Asteromyrtus Symphyocarpa.*** Jurnal penelitian Hasil Hutan 32(2):139-150.
- Sipahelut, S.G dan Telussa, I. 2011. ***Karakteristik Minyak Atsiri Dari Daging Buah Pala Melalui Beberapa Teknologi Proses.*** Jurnal Teknologi Hasil Pertanian 4(2):126-134.
- Sipahelut, S. G. 2012. ***Karakteristik Kimia Minyak Daging Buah Pala (Myristica Fragrans Houtt) Melalui Beberapa***

Cara Pengeringan dan Distilasi. Jurnal Agroforestri 7(1):59-64.

- Sipahelut, S. G. 2012. **Proporsi Persenyawaan Teroksigenasi Minyak Atsiri Dari Daging Buah Pala.** Jurnal Ekosains 1(1):41-46.
- SNI. 1998. **Standar Nasional Indonesia 06-3735-1998 Standar Mutu Minyak Atsiri.** Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI. 2006. **Standar Nasional Indonesia 06-2385-2006 Minyak Nilam.** Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI. 2006. **Standar Nasional Indonesia 06-2388-2006 Minyak Pala.** Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Soeroso, S. S. D. 2012. **Pala (*Myristica Spp.*) Maluku Utara Berdasarkan Keragaman Morfologi, Kandungan Atsiri, Pendugaan Seks Tanaman dan Analisis Marka SSR.** Disertasi. Bogor.
- Somani, R.S., dan Singhai, A.K. 2008. ***Hypoglycaemic and Antidiabetic Activities of Seeds of Myristica Fragrans In Normoglycaemic and Alloxan-Induced Diabetic Rats.*** Asian J. Exp 22(1):95-10.
- Stojanovska, N. F. S., Tahtouh, M., Kelly, T., Beavis, A., dan Kirkbride, K. 2013. ***A Review of Impurity Profiling and Synthetic Route of Manufacture of Methylamphetamine, 3,4- Methylenedioxymethylamphetamine, Amphetamine, Dimethylamphetamine and Pmethoxyamphetamine.*** Forensic Science International 224:8–26.
- Sukardi. 2016. **Elektroporasi Membran Sel untuk Meningkatkan Efisiensi Destilasi Minyak Nilam (*Pogostemon cablin*, Benth).** Disertasi. Program Doktor Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.
- Sukardi, Nizar, M. N., Mulyadi, A. F., dan Sucipto. 2016. **Efek Pulsed Electric Field (PEF) Pada Rendemen dan Kualitas Minyak Bunga Melati (*Jasminum Sambac*) (Kajian Rasio Bahan dan Pelarut).** Indonesian Journal Of Essential Oil 1(1):30-43.
- Sukardi., Pulungsari, F. M., Pulungan, M. H., dan Mulyadi, A. F. 2014. **Proses Ekstraksi Minyak Atsiri Bunga Mawar Dengan Melakukan Pendahuluan PEF (*Pulsed Electric Field*) Menggunakan Metode Pelarut Menguap** (Kajian

- Frekuensi PEF (*Pulsed Electric Field*) dan Waktu Ekstraksi).** Skripsi. Universitas Brawijaya. Malang.
- Sukardi., Rivita, A., Pulungan, M. H., dan Mulyadi, A. F. 2014. **Penerapan PEF (*Pulsed Electric Field*) Pada Ekstraksi Minyak Atsiri Daun Jeruk Purut (*Citrus Hystrix D.C*) Dengan Metode Destilasi Air dan Uap (Kajian Jenis Perlakuan Pendahuluan Bahan dan Lama Waktu *Pulsed Electric Field*).** Skripsi. Universitas Brawijaya. Malang.
- Suprihatin., Ketaren, S., Ngudiwaluyo, S., dan Friyadi, A. 2007. **Isolasi Miristisin Dari Minyak Pala (*Myristica Fragrans*) Dengan Metode Penyulingan Uap.** Jurnal Teknik Industri Pertanian 17(1):23-28.
- Suwandi., Nuryati, L., Yasin, A., dan Indarti, D. 2016. **Outlook Pala.** Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian Sekretariat Jenderal Kementerian Pertanian.
- Syauqiah, I., Mirwan, A., Sulaiman, A., dan Nurandini, D. 2008. **Analisis Pengaruh Lama Penyulingan dan Komposisi Bahan Baku Terhadap Rendemen dan Mutu Minyak Atsiri Dari Daun dan Batang Nilam.** Jurnal Info-teknik 9(1):21-30.
- Tanasale, M. L. P. 2012. **Aplikasi Perlakuan Bahan Baku Dan Penyulingan Air-Uap Terhadap Rendemen dan Sifat Organoleptik Minyak Atsiri.** Jurnal Ekosains 1(1):35-40.
- Tintchev, F., Dobрева, A., Schulz, H., dan Toepfl, S. 2012. **Effect of Pulsed Electric Fields on Yield and Chemical Composition of Rose Oil (*Rosa damascena Mill.*).** Journal of Essential Oil Bearing Plants 15(6):876-884.
- Toepfl, S. 2006. **Pulsed Electric Fields (PEF) for Permeabilization of Cell Membranes in Food- and Bioprocessing – Applications, Process and Equipment Design and Cost Analysis.** Disertasi. Universitas Berlin. Berlin.
- Yuliani, S dan Satuhu, S. 2012. **Panduan Lengkap Minyak Atsiri.** Penebar Swadaya. Bogor.
- Yuliarto, F. T., Khasanah, L. U., dan Anandito, R. B. K. 2012. **Pengaruh Ukuran Bahan dan Metode Destilasi (Destilasi Air dan Destilasi Uap-Air) Terhadap Kualitas Minyak Atsiri Kulit Kayu Manis (*Cinnamomum burmannii*).** Jurnal Teknosains Pangan 1(1):12-23.

Zeleny, M. 1982. ***Multiple Criteria Decision Making***. Mc Graw-Hill. New York.

Zhang, L., Wang, L. J., Jiang, W., dan Qian, J. Y. 2017. ***Effect of Pulsed Electric Field on Functional and Structural Properties of Canola Protein By Pretreating Seeds to Elevate Oil Yield.*** *Food Science and Technology* 84:73-81.

